www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

15e JAARGANG No. 10, blz. 285-316 OCTOBER 1953

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN GASONTLADINGSBUIS MET KOUDE KATHODE ALS SCHAKELELEMENT IN DE AUTOMATISCHE TELEFONIE

door J. DOMBURG en W. SIX.

621.387:621.385.12:
621.318.57:621.394.34

*Het denkbeeld om in automatische telefooncentrales electromechanische contactinrichtingen te vervangen door electronische, is verre van nieuw. In de octrooiliteratuur van de laatste tientallen jaren kan men talrijke voorstellen dienaangaande vinden: voorstellen tot het gebruik van fotocellen, kathodestraalbuizen of andere bijzondere vacuumbuizen, transistors, gasontladingsbuizen, enz. Over vacuumbuizen speciaal ontworpen voor het gebruik als schakelaars in de telefonie is enige jaren geleden in dit tijdschrift gepubliceerd *). In het onderstaande artikel wordt een gasontladingsbuis voor hetzelfde doel besproken. Met deze buis kunnen relais-, kies- en andere schakelingen worden samengesteld zoals o.a. in de automatische telefonie nodig zijn.*

In de automatische telefonie wordt op grote schaal gebruik gemaakt van electromagnetisch bewogen schakelaars voor het tot stand brengen en verbreken van verbindingen — zowel spreekverbindingen tussen de abonné's als verbindingen met allerlei hulpapparatuur (voor het kiezen, wekken, bezet melden, gesprekken tellen, enz.). Zulke schakelaars (relais, kiezers) bezitten een zekere traagheid, evenals de zg. instelorganen, die bepalen in welke stand de schakelaars moeten komen te staan. In moderne installaties heeft niet elke kiezer zijn eigen instelorganen, maar deze worden centraal ter beschikking gesteld voor een groot aantal verbindingen. Dan geldt dat hoe minder traagheid de instelorganen hebben, des te vlugger deze weer beschikbaar zijn om opnieuw te functionneren ten dienste van een andere abonné, en met een des te kleiner aantal ervan men dus kan volstaan. Men is dan ook, geruime tijd geleden reeds, gaan zoeken naar electronische, dus zo goed als traagheidsloze, inrichtingen die als instelorgaan en eventueel in andere functies dienst kunnen doen. Een tweede, niet te onderschatten, voordeel van electronische inrichtingen is dat zij, in tegenstelling met relais, geen onderhoud vergen.

*) J. L. H. Jonker en Z. van Gelder, Philips techn. T. **13**, 1-6 en 33-40, 1951.

De tegenwoordige stand van de electrotechniek biedt vele principiële mogelijkheden om zulke electronische inrichtingen te realiseren. Wij willen ons hier beperken tot de bespreking van één dezer mogelijkheden, namelijk een gasontladingsbuis, die in het Philipslaboratorium te Eindhoven is ontwikkeld. Na een beschrijving van de buis zullen we een aantal schakelingen bespreken waarin deze wordt gebruikt. Verscheidene van deze schakelingen zijn toegepast in een experimentele telefooncentrale die geheel electronisch werkt [1]).

Gasontladingsbuis met koude kathode

De bedoelde buis bestaat in twee uitvoeringen, type Z 500 T en Z 501 T (*fig. 1*), die elk een kathode en een anode bevatten en verder één resp. twee hulpanodes, welke als ontsteekelectrode dienst doen. De buizen zijn gevuld met argon.

De ontlading is een glimontlading, die, al naar de grootte van de stroom, een kleiner of groter deel van de kathode met glimlicht bedekt. Bij een stroom van 6 mA is de bedekking volledig.

[1]) Zie ook: W. Six, Een geheel electronische automatische telefooncentrale, De Ingenieur **63**, E 50-E 53, 1951; W. Six, Het gebruik van koudekathodebuizen als schakelelement, T. Ned. Radiog. **17**, 17-32, 1952 (No. 1); W. Six, Communication News (nog niet verschenen).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

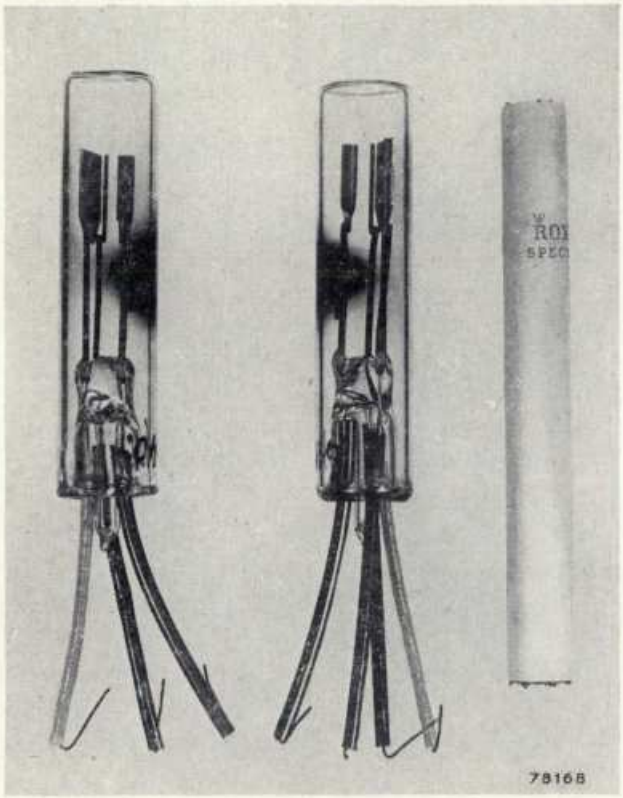


Fig. 1. Gasontladingsbuizen met koude oxydekathode. Links de uitvoering met één hulpanode (type Z 500 T), rechts die met twee hulpanodes (type Z 501 T). De buizen hebben geen voet, maar worden in de apparatuur vastgesoldeerd. Middellijn 12 mm, lengte circa 55 mm.

De kathode bestaat uit een nikkelen plaatje, waarop een laagje geactiveerd bariumoxyde is aangebracht; „geactiveerd" wil hier zeggen dat het bariumoxyde door stroomstoten ten dele is ontleed (waarbij een gasbinder de vrijkomende zuurstof heeft opgenomen), zodanig dat de brandspanning zo laag mogelijk wordt. De anode is een buisje, de hulpanode een draad — beide eveneens van nikkel, en evenwijdig aan de kathode opgesteld.

De buis is zo geconstrueerd dat het verschil tussen de ontsteekspanning en de brandspanning der ontlading tussen anode en kathode zo groot mogelijk is; dan zijn namelijk diverse toleranties in voedingsspanningen, weerstandswaarden enz. zo ruim mogelijk. Gestreefd moest dus worden naar een hoge ontsteekspanning en een lage brandspanning.

De ontsteekspanning is, bij een gegeven gas, bepaald door het product van de gasdichtheid p en de afstand d tussen de electrodes, volgens de kromme van Paschen (*fig. 2*). De brandspanning daarentegen hangt weinig van pd af zolang pd niet de waarde overschrijdt waarbij een anodeval optreedt, — een toestand die toch al ongewenst is wegens de kans op relaxatietrillingen. De grootheden p en d zijn dus zo gekozen dat pd een eindweegs rechts van het minimum in de kromme van Paschen ligt, echter niet zo ver dat een anodeval kan optreden; daarbij is de ontsteekspanning ($V_{ign\,a}$) 175 V of hoger. De brandspanning heeft de lage waarde van circa 60 V, dank zij de oxydekathode.

De hulpanode bevindt zich op een afstand $d' < d$ van de kathode, zodanig dat pd' correspondeert met het minimum in de kromme van Paschen. De ontsteekspanning van de hulpanode is dus zo laag mogelijk, en wel 65 tot 78 V.

Is over de hulpanode een ontlading tot stand gekomen, dan verlaagt de aanwezigheid van ionen en electronen in de buis de ontsteekspanning $V_{ign\,a}$ van de anode; de mate waarin dit gebeurt, hangt af van de stroom $i_{a'}$ over de hulpanode (*fig. 3*).

Uit fig. 3 lezen we af dat $V_{ign\,a} = 160$ V bij $i_{a'} = 30$ μA. Zetten we een gelijkspanning van 160 V tussen anode en kathode, dan zal de buis dus pas aangaan wanneer over de hulpanode een stroom van ten minste 30 μA loopt. Deze stroom behoeft maar van korte duur te zijn: de hoofdontlading komt namelijk reeds tot stand in 10^{-4} tot 10^{-5} s, en indien ze er eenmaal is, blijft ze bestaan, ook wanneer de stroom $i_{a'}$ nul wordt. Het is dus mogelijk $i_{a'}$ te doen leveren door een condensator, zoals is weergegeven in *fig. 4*: zodra er hier enige stroom over de hulpanode loopt, wordt deze stroom, doordat de condensator zich over een keten bijna zonder weerstand ontlaadt, tijdelijk vrij groot. Door het gebruik van een voorspanning kan men bereiken dat nog maar een geringe stuurspanning nodig is om de buis te ontsteken.

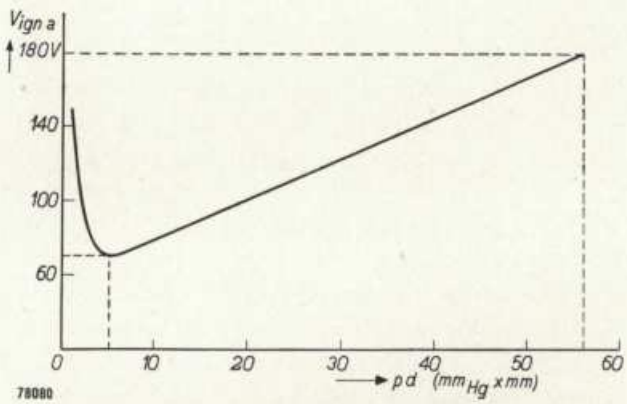


Fig. 2. De kromme van Paschen (ontsteekspanning $V_{ign\,a}$ als functie van het product van gasdichtheid p en electrodenafstand d), voor een ontlading in argon met een koude oxydekathode.

Zoals al werd vermeld, is het buistype Z 501 T voorzien van twee hulpanodes. Straks zal blijken dat dit van voordeel is voor buizen die dienst moeten doen als kiezer.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Daar de buis geen gloeidraad heeft, ontwikkelt ze warmte slechts zolang ze werkt, en dan nog maar een fractie van een watt en meestal slechts gedurende korte tijden. Twee punten in haar voordeel ten

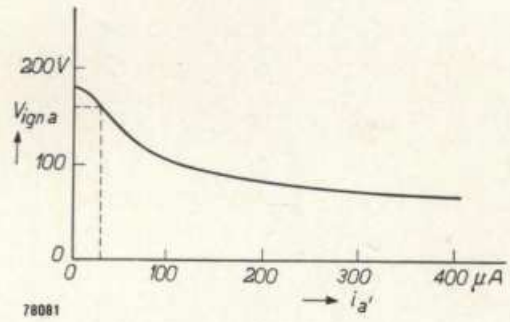


Fig. 3. De ontsteekspanning $V_{ign\,a}$ van de buis Z 500 T als functie van de hulpanodestroom $i_{a'}$.

opzichte van buizen met gloeikathode zijn dus: gering energieverbruik en geen moeilijkheden met warmteafvoer (men denke hierbij aan compacte installaties met grote aantallen buizen).

Als derde voordeel kunnen we daaraan toevoegen dat de levensduur zeer gunstig is. Een brandduur („netto" levensduur) van gemiddeld 12 000 h bij een stroom van 6 mA is bereikbaar, en volgens de

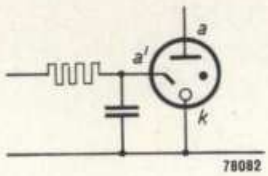


Fig. 4. Een schakeling voor het ontsteken van een buis Z 500 T (met anode a, koude kathode k en hulpanode a'; de stip geeft de gasvulling aan). Zodra de condensator via de weerstand is geladen tot de ontsteekspanning van a' (65 tot 78 V), ontlaadt hij zich over a' met een vrij sterke stroom, die de hoofdstroom over a inleidt.

tegenwoordige inzichten zullen de buizen uit de fabricage een gemiddelde levensduur van ten minste 6000 h hebben. Daar de meeste buizen in de straks te bespreken schakelingen telkens maar kort werken, komt dit voor deze buizen neer op een „bruto" levensduur van honderden jaren. Bij stromen kleiner dan 6 mA (gedeeltelijk bedekte kathode) is de levensduur omgekeerd evenredig met de stroom; bij stromen groter dan 6 mA is hij omgekeerd evenredig met een hogere macht van de stroom [2]), welke macht in ons geval ruim 3 is.

[2]) G. H. Rockwood, Current rating and life of cold-cathode tubes, Trans. Amer. Inst. El. Engrs. **60**, 901-903, 1941.

Schakelingen waarin de koudekathodebuis wordt gebruikt

Bij het ontsteken van de buis daalt de spanning tussen anode en kathode van de beginwaarde V_{ak} — die, ter vermijding van spontane ontsteking, lager dan 175 V moet zijn — tot de brandspanning (circa 60 V). Het verschil V_{ak} — 60 V komt dan ter beschikking over een met de buis in serie geschakelde weerstand en kan bijv. op zijn beurt dienst doen om een andere buis te ontsteken.

Opgemerkt werd al dat de hulpanode niet kan dienen om een ontstoken buis te doven. De vraag is dus hoe dit wèl kan geschieden. Soms is het geen bezwaar de anodekring even te onderbreken. In andere gevallen kan men de voedingsspanning periodiek tot beneden de brandspanning laten dalen, waardoor de ontlading uitgaat: men kan daartoe de voedingsspanning bijv. laten bestaan uit een gelijkspanning van 100 V en een sinusvormige wisselspanning met een amplitude van 60 V. Ook kan men de ontlading doven door de buisspanning impulsgewijs tot be-

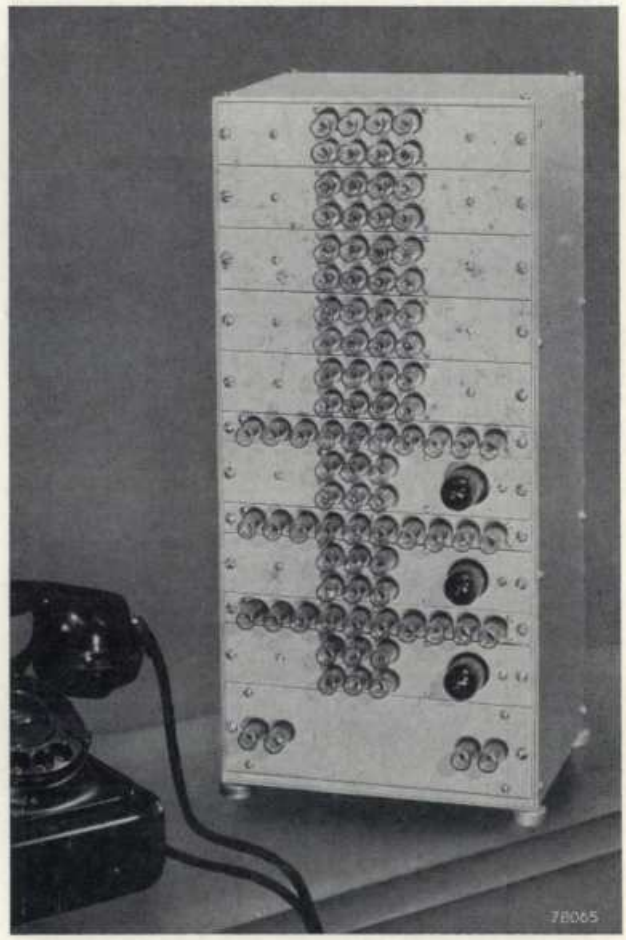


Fig. 5. Geheel electronisch werkende telefooncentrale voor tien aansluitingen, in gebruik in het Philipslaboratorium te Eindhoven. De centrale bevat 62 koudekathodebuizen Z 500 T, 30 koudekathodebuizen Z 501 T en drie dubbele triodes ECC 81. Voor de voeding zijn twee gelijkspanningsbronnen nodig: +160 V en −60 V ten opzichte van aarde.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

neden de brandspanning te doen dalen, hetzij door een negatieve impuls toe te voeren aan de anode, hetzij een positieve aan de kathode. Nog een andere mogelijkheid is, de schakeling zo in te richten dat ze als generator werkt zolang er op de hulpanode een ontlading staat: verdwijnt deze ontlading, dan houdt het genereren op.

Relaisschakelingen

In *fig. 6a* is een koudekathodebuis voorgesteld die in serie met een anodeweerstand R_a en een kathodeweerstand R_k is aangesloten op een gelijkspanningsbron van 160 V. Tussen de positieve pool en de kathode is een spanningsdeler r_1-r_2 aangesloten. We onderstellen $r_1+r_2 \gg R_k$ — zodat

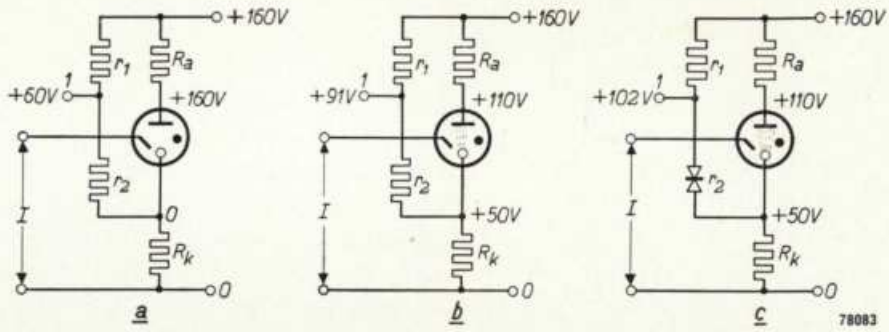


Fig. 6. De koudekathodebuis als relais.
a) De buis is stroomloos. Het punt *1* op de spanningsdeler r_1-r_2 heeft een spanning van 60 V.
b) De buis is via de ingangsklemmen *I* ontstoken. De spanning van punt *1* is gestegen tot 91 V.
c) Door voor r_2 een varistor te nemen, kan men de spanning van punt *1* nog hoger laten stijgen, namelijk tot 102 V.
De weerstanden r_1 en r_2 zijn hier ondersteld groot te zijn ten opzichte van de weerstanden R_a en R_k ($= R_a$).

Voorbeelden van een en ander zullen we ontmoeten in de hieronder te bespreken schakelingen. Bij wijze van practijkproef, en tevens ter demonstratie, zijn verscheidene van deze schakelingen toegepast in een experimentele automatische telefooncentrale voor tien abonné's (*fig. 5*), die bij stroom nul door de buis de kathodepotentiaal nagenoeg nul is — en $R_a = R_k$. De verhouding $r_1 : r_2$ zij zodanig gekozen dat het aftakpunt *1* de potentiaal +60 V heeft.

Wordt de buis ontstoken, dan daalt de spanning tussen anode en kathode van 160 V tot 60 V; het

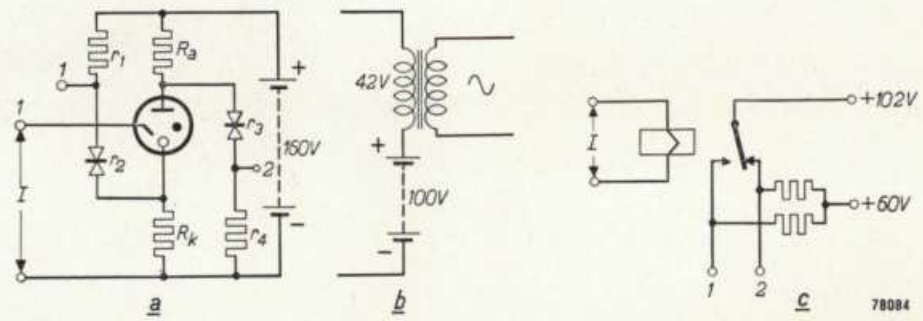


Fig. 7. *a*) Uitbreiding van de schakeling van fig. 6*c* met een tak r_3 (varistor)-r_4. Buis stroomloos: punt *1* heeft 60 V, punt *2* heeft 102 V. Buis ontstoken: punt *1* heeft 102 V, punt *2* heeft 60 V.
b) Om de buis vanzelf te doen uitgaan, kan men als voedingsspanning gebruiken de som van een gelijkspanning van 100 V en een wisselspanning van 42 V.
c) Relais met een wisselcontact *1-2*, waarmee de schakeling (*a*) gelijkwaardig is.

al enige jaren dienst doet in het Philipslaboratorium te Eindhoven. Mechanische schakelaars of relais komen in deze geheel electronisch werkende centrale niet voor; als buizen zijn, behalve drie versterkbuizen met gloeikathode (ECC 81), uitsluitend koudekathodebuizen Z 500 T en Z 501 T gebruikt.

verschil, 100 V, verdeelt zich in gelijke delen over R_a en R_k, en, zoals men gemakkelijk narekent, neemt het punt *1* nu een potentiaal van ongeveer +91 V aan (fig. 6*b*). De spanningssprong aan *1*, van 60 naar 91 V, kan men gebruiken om bijv. een andere buis te ontsteken of te doven.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Deze spanningssprong kan men nog wat vergroten door voor r_2 een zg. varistor te nemen (fig. 6c), d.i. een weerstand waarvan bij afnemende spanning de weerstandswaarde toeneemt. Daarmee kan men bereiken dat *1* bij ontstoken buis de potentiaal +102 V heeft.

Van een en ander is gebruik gemaakt in de relaisschakeling die in *fig. 7a* is weergegeven. Zolang de buis stroomloos is, heeft punt *1* de potentiaal +60 V en punt *2* de potentiaal +102 V, en bij ontstoken buis heeft punt *1* de potentiaal +102 V en punt *2* de potentiaal +60 V. Het ontsteken heeft dus tot gevolg dat de punten *1* en *2* van potentiaal verwisselen; de schakeling is derhalve in dit opzicht gelijkwaardig met een relais met een wisselcontact (fig. 7c). Om de ontlading vanzelf te doen doven, kan men de schakeling voeden met pulserende gelijkspanning die periodiek tot beneden de brandspanning daalt (fig. 7b), zoals boven werd besproken.

Ingram heeft aangetoond dat door combinaties van gasontladingsbuizen met gelijkrichtcellen equivalenten voor alle relaisschakelingen zijn te vinden [3]). In *fig. 8* zijn enige voorbeelden gegeven: *a*) twee werkcontacten in serie, *b*) twee werkcontacten parallel, *c*) een werkcontact en een rustcontact in serie, en *d*) een werkcontact en een

[3]) S. B. Ingram, Cold-cathode gas-filled tubes as circuit elements, Trans. Amer. Inst. Engrs. **58**, 342-346, 1939.

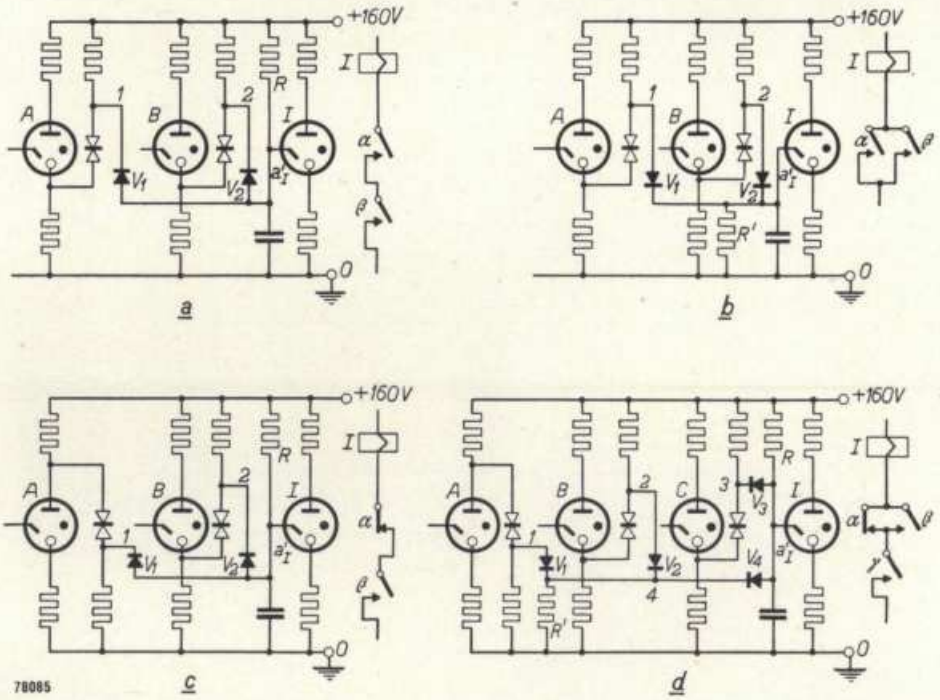


Fig. 8. Enige relaisschakelingen met koudekathodebuizen (uitbreidingen van fig. 7a). Of de buis *I* al dan niet ontstoken is, hangt af van de toestand waarin de buizen *A* en *B* (en eventueel *C*) verkeren, op dezelfde wijze als het al of niet bekrachtigd zijn van het ernaast getekende relais *I* afhangt van de stand der contacten α en β (en eventueel γ).

De weerstandswaarde van *R* is groot ten opzichte van de keerweerstand der gelijkrichtcellen, en *R'* is klein ten opzichte van *R*. Voor de condensator tussen de hulpanode van *I* en aarde, zie fig. 4.

Nevenstaande tabel geeft nadere bijzonderheden (alleen voor schakeling *d* zijn niet alle mogelijkheden opgesomd). 0 betekent niet geleiden, × betekent wel geleiden van een buis of een gelijkrichtcel.

Schakeling	Buizen A	B	C	Potentiaal in punt 1	2	3	4 (V)	Gelijkrichtcellen V_1	V_2	V_3	V_4	Pot. a'_I (V)	Buis I
a	0	0		60	60			×	×			60	0
	×	0		100	60			0	×			60	0
	0	×		60	100			×	0			60	0
	×	×		100	100			×	×			100	×
b	0	0		60	60			×	×			60	0
	×	0		100	60			×	0			100	×
	0	×		60	100			0	×			100	×
	×	×		100	100			×	×			100	×
c	0	0		100	60			0	×			60	0
	×	0		60	60			×	×			60	0
	0	×		100	100			×	×			100	×
	×	×		60	100			×	0			60	0
d	0	0	0	100	60	60	100	×	0	×	0	60	0
	0	0	×	100	60	100	100	×	0	×	×	100	×
	0	×	×	100	100	100	100	×	×	×	×	100	×
	×	0	×	60	60	100	60	×	×	0	×	60	0
	×	×	×	60	100	100	100	0	×	×	×	100	×
	enz.												

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

rustcontact parallel en daarmee in serie een werkcontact. In het onderschrift zijn deze schakelingen toegelicht.

Telschakeling

Met koudekathodebuizen kunnen schakelingen worden samengesteld voor het decimaal tellen van impulsen. Aanstonds zullen we zien hoe zulk een telschakeling dienst kan doen in de automatische telefonie, maar voorlopig denken we nog aan tellen in het algemeen. In *fig. 9* is een telschakeling weergegeven. De te tellen impulsen, die circa 30 V amplitude moeten hebben, komen met positieve polariteit via de ingangsklem *I* en de condensatoren C_1 op de hulpanodes van de tien buizen *1*, *2*, ... *0* der meenschappelijk is. Over R_2 ontstaat daarbij een spanningsval van 40 V, zodat op de kathode van de negen stroomloze buizen 40 V komt te staan. De hulpanode van buis *2* heeft nu dus een voorspanning van 100—40 = 60 V ten opzichte van de kathode. De tweede impuls zal derhalve buis *2* ontsteken. De kathodepotentiaal van deze buis springt daarbij van 40 V naar 100 V, hetgeen een laadstroom veroorzaakt door de condensator C_2 die de kathodes van buis *1* en buis *2* verbindt. Deze laadstroom loopt gedeeltelijk door de kathodeweerstand R_1 van buis *1* en verhoogt daarbij tijdelijk de kathodepotentiaal van buis *1* zodanig dat deze buis wordt gedoofd. (Dit is dus een voorbeeld van doven door middel van een positieve impuls op de kathode.)

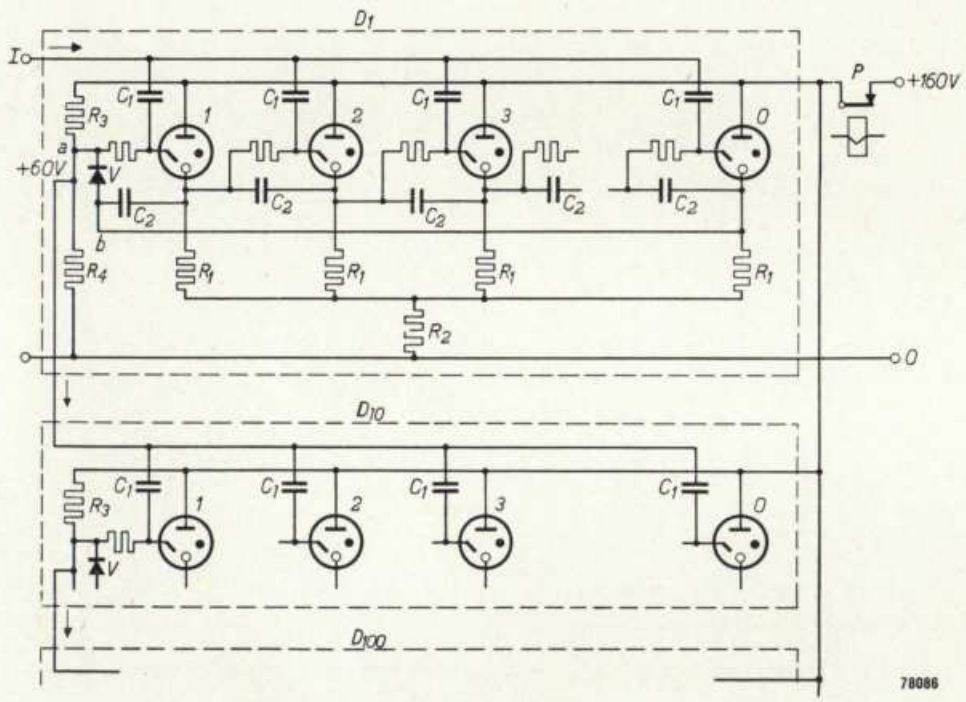


Fig. 9. Decimale telschakeling met koudekathodebuizen. D_1 eenhedendecade, D_{10} tientallendecade, D_{100} honderdtallendecade, elk met tien buizen Z 500 T (*1*, *2*, ... *0*). *I* ingangsklem. C_1 ingangscondensatoren. R_1 kathodeweerstanden. R_2 gemeenschappelijke kathodeweerstand. C_2 doofcondensatoren. R_3-R_4 spanningsdeler, die +60 V voorspanning aan de hulpanode van de eerste buis geeft. *V* gelijkrichtcel, waarover de buizen van de volgende decade worden ontstoken. *P* contact dat na de telling even wordt geopend om alle buizen te doven.

eerste decade (D_1). In de begintoestand heeft alleen de hulpanode van buis *1* een voorspanning (+60 V), ontleend aan een spanningsdeler R_3-R_4, die is aangesloten op de gelijkspanningsbron van 160 V welke de schakeling voedt. De eerste impuls zal dus alleen buis *1* ontsteken. De kathodepotentiaal van buis *1* stijgt daardoor van 0 tot circa 100 V, en de potentiaal van de hulpanode van buis *2* ondergaat dezelfde stijging. Na het ontsteken van buis *1* loopt er stroom door de kathodeweerstand R_1 van buis *1* en door de weerstand R_2 die aan de tien buizen ge-

Na de tweede impuls is de toestand deze: alleen buis *2* brandt; de kathodepotentiaal van deze buis is +100 V, die van alle andere buizen is +40 V; de hulpanode van buis *1* heeft een voorspanning van 60—40 = 20 V (wat niet voldoende is om bij een volgende impuls buis *1* te doen ontsteken), de hulpanode van buis *3* echter heeft een voorspanning van 100—40 = 60 V, en de andere hulpanodes hebben geen voorspanning. De derde impuls zal dus buis *3* ontsteken (en daardoor buis *2* doven), en zo vervolgens.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wil men verder dan 10 tellen — dus de elfde impuls weer buis *1* laten ontsteken, enz. — dan moet men tussen buis *0* en buis *1* een zelfde koppeling aanbrengen als tussen de overige buizen. Daarbij is echter een gelijkrichtcel (V) nodig, die zo is geschakeld dat de weerstand in de richting van het punt a naar het punt b groot is. Dit is noodzakelijk, om de beletten dat, wanneer alle buizen stroomloos zijn, punt a de potentiaal 0 van punt b zou aannemen (de weerstanden R_1 en R_2 zijn namelijk veel kleiner dan R_3 en R_4), waardoor de hulpanode van buis *1* geen voorspanning meer zou hebben. Bij het ontsteken van buis *0* springt de kathodepotentiaal van deze buis van 40 naar 100 V, en deze sprong komt via de gelijkrichtcel ten dele op het punt a, vanwaar hij kan worden toegevoerd aan een tweede decade (D_{10}), die de tientallen telt. Bij de tiende impuls ontsteekt dus niet alleen buis *0* van D_1, maar ook buis *1* van D_{10}. Een derde decade (D_{100}) kan men de honderdtallen laten tellen, enz.

Daar de ontlading in de buizen zichtbaar is (violet licht), kan men het aantal getelde impulsen direct afleesbaar maken door bij de buizen cijfers te plaatsen.

Verleden jaar zijn in dit tijdschrift een speciale telbuis (type E1T) en een daarvoor ontworpen telschakeling beschreven [4]). Wellicht is het nuttig deze buis in het kort met de buis Z 500 T te vergelijken.

Karakteristieke voordelen van de buis E1T zijn:

1) De maximale telsnelheid is veel groter.
2) De buis E1T zelf is reeds decimaal, zodat één buis E1T (samen met één hulpbuis E 90 CC) in de plaats van tien buizen Z 500 T treedt.

Wat punt 1) betreft, zij eraan herinnerd dat de in het artikel [4]) besproken telschakeling zeker met een snelheid van 30 000 impulsen per seconde kan tellen, en dat nog veel grotere snelheden bereikbaar zijn indien men zich de moeite wil getroosten, de buizen individueel zo gunstig mogelijk in te stellen en bepaalde hulpbuizen te gebruiken. Bij de gasontladingsbuis is de telsnelheid principieel beperkt, in de eerste plaats door een vertraging die afhangt van het aantal electronen (in hoofdzaak foto-electronen) dat vóór het ontsteken in de buis aanwezig is, en verder door de tijd die nodig is voor het opbouwen van de hulpontlading en van de hoofdontlading, en door de ontioniseringstijd. De grootste telsnelheid ligt tussen ongeveer 1500 en 2500 impulsen per seconde (wat veel meer is dan men nodig heeft voor telefoniedoeleinden).

Daartegenover staan als voordelen van de buis Z 500 T:

1) Er is geen gloeistroom nodig.
2) De „bruto" levensduur is langer.
3) De warmteontwikkeling is geringer.
4) De voedingsspanning is lager (160 V in plaats van 300 V).
5) Een telschakeling met buizen Z 500 T maakt het getelde aantal niet alleen zichtbaar, maar ook kenbaar doordat de anode- of de kathodepotentiaal bij de brandende buizen anders is dan bij de niet-brandende; van deze markeerspanningen (zie hieronder) kan gebruik worden gemaakt om bijv. andere buizen te ontsteken.

Hieruit moge voldoende zijn gebleken dat beide buistypes reden van bestaan hebben.

Na afloop van een telling kan men de buizen doven door bij voorbeeld met een relaiscontact (P, fig. 9) de voedingsspanning even af te schakelen.

Registerschakeling

Bij bepaalde automatische systemen worden de cijfers die een abonné achtereenvolgens op zijn kiesschijf aanslaat, door middel van schakelaars of relais tijdelijk vastgelegd in een zg. registers; nadat het nummer is gekozen, bepalen de registers in welke stand de kiezers komen te staan, die verbinding met de opgeroepen abonné geven. De electromechanische middelen die hiervoor gebruikelijk zijn, kunnen geheel door schakelingen met koudekathodebuizen worden vervangen. Voor het tellen en markeren doet daarbij dienst één decade van de zoëven besproken telschakeling, en de groep registers bestaat uit evenveel decades als de telefoonnummers cijfers tellen. De tel- en markeerschakeling telt het aantal impulsen dat bij het draaien van telkens één cijfer op de kiesschijf wordt opgewekt, markeert de overeenkomstige buis van het bijbehorende register, waardoor deze buis wordt ontstoken, en keert dan in de begintoestand terug, om de impulsen van het volgende cijfer te kunnen tellen. De tel- en markeerschakeling noemen we hier verder kortweg teller.

Nemen we als voorbeeld een telefoonnet waarbij de nummers uit drie cijfers bestaan. Een abonné wenst verbinding met toestel 382. Hij draait daartoe op zijn kiesschijf eerst het cijfer 3. Bij het teruglopen van de schijf ontstaan drie impulsen, waardoor in de teller buis *3* gaat branden. Op nader te beschrijven wijze wordt bewerkstelligd dat in register I eveneens buis *3* gaat branden en dat vervolgens in de teller buis *3* uitgaat. De abonné draait nu het cijfer 8; in de teller gaat buis *8* branden, in register II ook buis *8*, in de teller gaat buis *8* weer uit, en zo vervolgens met het derde cijfer. Het resultaat is dat het gekozen nummer is vastgelegd doordat ten slotte in register I buis 3 brandt, in register II buis 8 en in register III buis *2*.

Een schakeling die dit alles bewerkstelligt, is afgebeeld in *fig. 10* (eenvoudigheidshalve met slechts twee registers; het schema kan zonder bezwaar met andere registers worden uitgebreid). De teller (C) komt overeen met een decade van fig. 9, behalve dat er nu geen koppeling van buis *0* naar buis *1* is,

[4]) A. J. W. M. van Overbeek, J. L. H. Jonker en K. Rodenhuis, Een decimale telbuis voor grote telsnelheden, Philips techn. T. **14**, 349-362, 1952 (No. 12).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

daar de teller nooit meer dan tien impulsen behoeft te tellen. Komen er bijv. drie impulsen op de teller binnen, dan gaat, zoals we in de vorige paragraaf hebben gezien, bij de eerste impuls buis *1* aan, bij de tweede impuls buis *2* (waardoor buis *1* uitgaat) en bij de derde impuls buis *3* (waardoor buis *2* uitgaat); het aangaan van een buis betekent dat de kathode een spanning van circa 100 V, de markeerspanning, bereikt. De kathode van elke buis in de teller is verbonden met de hulpanode van de gelijk genummerde buis in register *I*. Het voorbijgaand branden van de telbuizen *1* en *2* moet niet, het langer branden van buis *3* (in ons voorbeeld) moet wèl in register *I* worden vastgelegd. Het onderscheiden tussen de brandtijden geschiedt door de vertragingsnetwerken R_5-C_3. De vertraging is groter dan de tijd die verloopt tussen twee opeenvolgende impulsen, zodat de hulpanodes van de registerbuizen *1* en *2* de ontsteekspanning (65 tot 78 V) niet bereiken, maar die van buis *3* dit wèl doet.

De teller moet nu in de begintoestand terugkeren om het volgende cijfer te kunnen opnemen, dwz. de nog brandende buis van de teller moet worden gedoofd. Dit gebeurt door tussenkomst van een hulpbuis (*E*). Wanneer een buis van register *I* wordt ontstoken, dan gaat er door de weerstand R_7 stroom lopen, die de potentiaal van het punt *p* omhoogbrengt van 0 tot 50 V. Via de condensator C_5 ontsteekt deze spanningssprong de buis *E*,

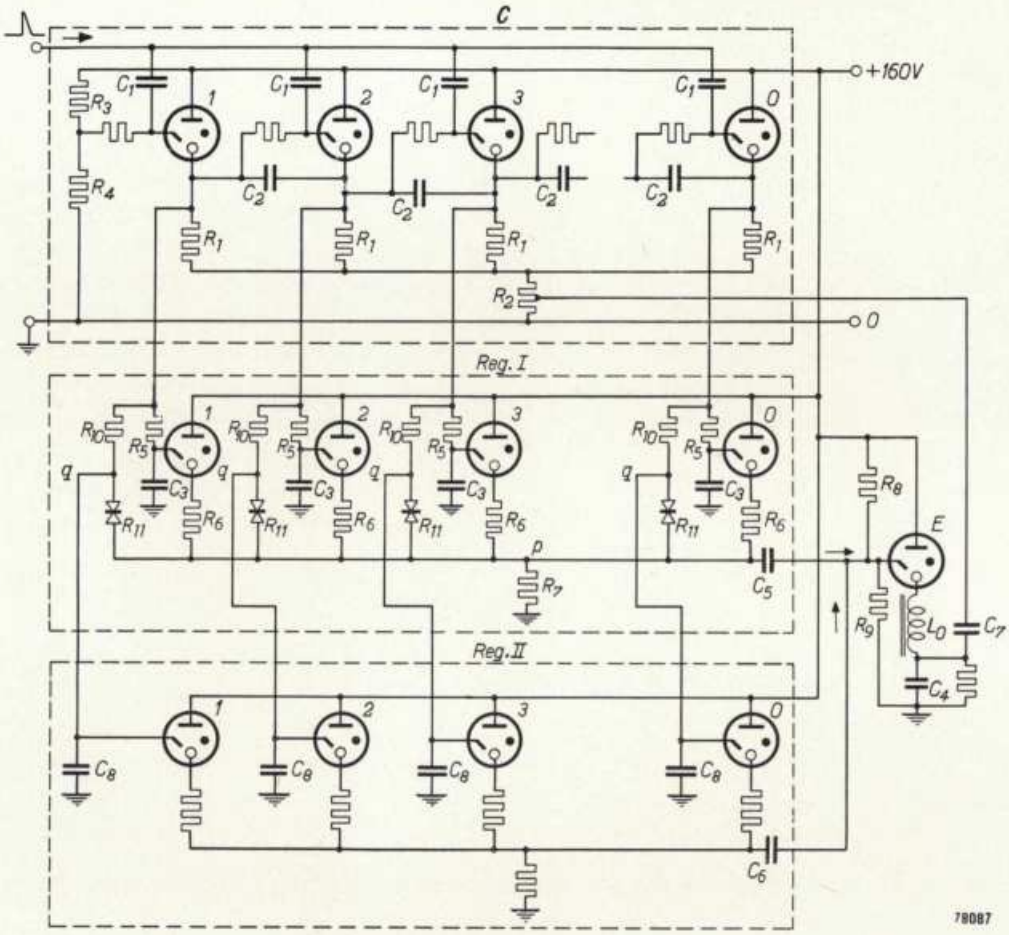


Fig. 10. Tel- en markeerschakeling (*C*) met twee registers (*Reg. I* en *Reg. II*). De schakeling van *C* is nagenoeg gelijk aan die van decade D_1 in fig. 9. *E* doofbuis, die, nadat een cijfer in een register is vastgelegd, de in *C* brandende buis dooft. R_5-C_3 vertragingsketens, die ervoor zorgen dat het kortstondig branden van de buizen in *C* zonder uitwerking op *Reg. I* blijft. R_{10}, R_{11} en C_8 vormen soortgelijke vertragingsketens voor *Reg. II*.

waarvan de hulpanode al 60 V voorspanning had, ontleend aan een spanningsdeler R_8-R_9. In de kathodeleiding van buis *E* bevindt zich een trillingsketen (L_0-C_4, met een weerstand parallel aan C_4). Deze keten wordt bij het ontsteken van de buis *E* aangestoten. De spanning over C_4 werkt via een koppelcondensator (C_7) op een deel van de weerstand R_2; deze spanning slingert zich zo hoog op dat de brandende telbuis wordt gedoofd. De buis *E* zelf gaat uit wanneer de stroom in de trillingsketen L_0-C_4 door nul gaat. Het resultaat is dus dat het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

eerste cijfer, 3, in register *I* is vastgelegd (doordat aldaar buis *3* brandt) en dat de teller en de hulpbuis *E* in de begintoestand zijn teruggekeerd.

Het volgende cijfer moet worden opgeslagen in register *II*. Dit gebeurt doordat de spanningsval van 50 V die de brandende buis van register *I* over de weerstand R_7 doet ontstaan, register *II* gevoelig en register *I* ongevoelig maakt voor de markeerspanning die in de teller optreedt bij het tweede cijfer. Uit fig. 9 zien we namelijk dat de hulpanodes van register *II* zijn aangesloten op de aftakpunten *q* van spanningsdelers R_{10}-R_{11}, waarin de weerstanden R_{11} varistors zijn. Deze spanningsdelers zijn zo gedimensionneerd dat, bij een markeerspanning van 100 V, het punt *q* een spanning van 60 V resp. 90 V aanneemt, al naar gelang de potentiaal van het punt *p* 0 of 50 V is.

Beschouwen we nu eerst nog eens het geval dat de impulsen van het eerste cijfer door de teller worden geteld. De potentiaal van punt *p* is dan nog nul, en de spanning van 60 V die het gemarkeerde punt *q* aanneemt, is niet voldoende om de bijbehorende buis van register *II* te ontsteken, maar de volle markeerspanning ontsteekt wèl de betrokken buis van register *I*. Het eerste cijfer komt dus wèl in register *I* en niet in register *II* terecht.

Wanneer het tweede cijfer wordt gedraaid, is reeds een spanning van 50 V aanwezig op punt *p*, en daarmee ook aan de kathodes van de niet-brandende buizen van register *I*. Daardoor wordt dit register voor het tweede cijfer geblokkeerd. De spanning aan het gemarkeerde punt *q* is nu niet 60 V maar 90 V, zodat het tweede cijfer in register *II* zal worden vastgelegd. Daarbij wordt weer de hulpbuis *E* in werking gesteld (via C_6), om de teller in de begintoestand terug te brengen.

Condensatoren (C_8) tussen de hulpanodes en aarde maken ook hier dat het voorbijgaand branden van de telbuizen zonder uitwerking op de registers blijft.

De koudekathodebuis in spreekstroomketens

Op de gelijkstroom van enige mA die door de buis loopt, kan men een spreekstroom superponeren. De gasontlading heeft voor deze wisselstroom een zekere impedantie, die men, evenals de overgangsweerstand van een relaiscontact, zo laag mogelijk wil houden. De impedantie hangt af van de frequentie en van de grootte van de gelijkstroom en, wat de buis betreft, van de gasvulling, de geometrie der electrodes en de uittreearbeid van het kathodemateriaal [5]). Een kleine waarde van de uittreearbeid, zoals die van een oxydekathode, is gunstig om een lage impedantie te krijgen. Bij een stroom van 6 mA en frequenties van 300 tot 3000 Hz hebben de buizen een impedantie van omstreeks 500 ohm. Een waarde als deze mag voor een gasontlading laag worden genoemd, maar is toch nog vrij hoog in vergelijking met de overgangsweerstand van een relaiscontact. Ten einde de demping die de ontladingsimpedantie veroorzaakt, zo gering mogelijk te houden, moet men de impedantie van de keten waarin de buis werkt, door transformeren brengen op het hoogste niveau dat met het oog op overspreken nog toelaatbaar is. Kan men op deze wijze de impedantie van de keten opvoeren tot bijv. 2400 ohm, dan veroorzaakt de buis een demping van nog maar 1 dB.

Bezettest en blokkering

In de automatische telefonie komt het veelvuldig voor dat uit een bundel lijnen een vrije lijn moet worden gezocht. Daarbij moet worden voldaan aan twee blokkeringseisen:

1) Nadat een vrije lijn is gevonden, mag niet met een tweede vrije lijn verbinding tot stand komen.
2) Met de gevonden vrije lijn mag slechts één verbinding tegelijk mogelijk zijn.

Met electromechanische middelen geschiedt dit zoeken in het algemeen doordat een schakelaar de lijnen één voor één aftast, en stopt zodra hij de eerste vrije lijn heeft gevonden. Electronische middelen daarentegen maken het mogelijk, alle lijnen tegelijk op al of niet bezet zijn te onderzoeken, en tevens aan de blokkeringseisen te voldoen. De tijdsbesparing die dit gelijktijdig testen meebrengt, kan leiden tot een materiaalbesparing.

Fig. 11 toont het principe van een electronische schakeling die aan het bovenstaande beantwoordt, voor een kleine centrale met tien abonné's. Links zijn de abonnétoestellen getekend, genummerd *1, 2, ... 0*. In de centrale kunnen verbindingen tussen de abonné's tot stand komen via verbindingscircuits — hier ten getale van drie (*I, II* en *III*) —, en wel door middel van $3 \times 10 = 30$ koudekathodebuizen, die in het schema zijn getekend op de kruispunten van de abonnélijnen en de verbindingscircuits. Met voordeel kunnen hier buizen met twee hulpanodes (type Z 501 T) worden gebruikt.

---

[5]) Voor de impedantie van gasontladingen, zie Chr. van Geel, Untersuchungen von Gasentladungen mit Rücksicht auf ihre dynamischen Eigenschaften und ihre Stabilität, Physica **6**, 806-816, 1939, en C. J. D. M. Verhagen, Theorie en metingen over impedantie en stabiliteit van gasontladingen, dissertatie Delft, 1942.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wil bijv. abonné *2* spreken met abonné *9*, dan begint hij met de hoorn van de haak te nemen. Dit nu moet, doordat één van de spreekstroombuizen *2-I*, *2-II* en *2-III* wordt ontstoken, tot gevolg hebben dat toestel *2* wordt aangesloten op één (en slechts één) van de verbindingscircuits; is deze

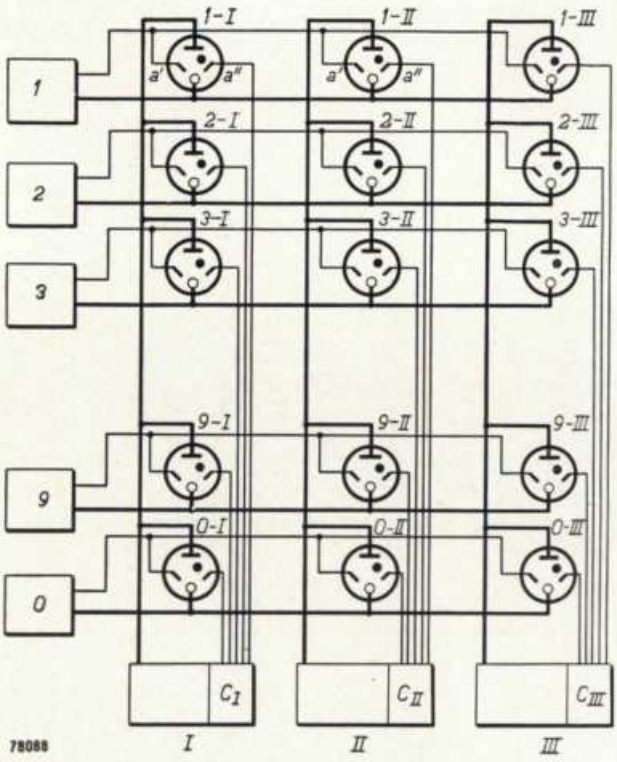


Fig. 11. Principeschema van een electronische telefooncentrale voor tien aansluitingen. *I*, *II*, *III* verbindingscircuits, elk met een tel- en markeerschakeling (C_I, C_{II}, C_{III}, vgl. *C* in fig. 10). *1-I*, *1-II*, ... *0-III* zijn 30 koudekathodebuizen Z 501 T.

aansluiting tot stand gekomen, dan moet dit verbindingscircuit voor de andere abonné's onbereikbaar zijn geworden. Waren alle verbindingscircuits, toen de hoorn van de haak werd genomen, al in gebruik, dan moet abonné *2* het signaal „bezet" te horen krijgen.

Nadat de aansluiting op één van de verbindingscircuits, bijv. op circuit *II*, tot stand is gekomen, draait abonné *2* het cijfer 9. De impulsen die daarbij ontstaan, worden geteld door de teller C_{II} van het verbindingscircuit *II*, zodat in deze teller buis *9* gaat branden. Dit heeft tot gevolg dat buis *9-II* wordt ontstoken, die als kiezercontact fungeert, en daarmee is de verbinding van toestel *2* met toestel *9* tot stand gekomen. Is abonné *9* in gesprek, dan moet abonné *2* het bezetsignaal krijgen; in het andere geval moet bij abonné *9* gewekt worden. Hoe het bezet- en het weksignaal kunnen worden gegeven, zullen we straks bespreken.

Uit het bovenstaande blijkt dat eerst een horizontale rij buizen (rij *2*) dienst heeft gedaan als voorkiezer, daarna een verticale rij (rij *II*) als eindkiezer. Elk van de 30 buizen moet dus voor beide functies geschikt zijn. Om deze functies gescheiden te houden, zijn buizen met twee hulpanodes gebruikt: de hulpanodes a' doen dienst bij het gebruik als voorkiezer, de hulpanodes a'' bij het fungeren als eindkiezer. (Noodzakelijk is dit niet; ook buizen met één hulpanode zijn bruikbaar, maar dan heeft men per buis o.a. een gelijkrichtcel nodig waarvan de weerstand in beide stroomrichtingen tussen vrij nauwe grenzen moet liggen. Daarom zijn hier buizen met twee hulpanodes te prefereren.)

Fig. 12 laat meer in detail zien hoe het kiezen van een vrij verbindingscircuit in zijn werk gaat. Alle 30 buizen — waarvan slechts drie zijn getekend — worden gevoed met 160 V gelijkspanning, en de hulpanodes a' krijgen uit spanningsdelers R_{15}-R_{16} een voorspanning van 60 V. De koppeling tussen de verbindingscircuits, die asymmetrisch ten opzichte van aarde zijn, en de symmetrische abonnélijnen komt tot stand door middel van transformatoren, zoals Tr_2, die tevens omhoogtransformeren met het oog op de impedantie van de koudekathodebuizen. De microfoonstroom, ontleend aan een batterij van 60 V, wordt toegevoerd via de op één kern gewikkelde spoelen L_2-L_2'. De spreekstroom wordt door deze spoelen uit de batterij gehouden en vindt een weg over de condensator K_2. De stroomkring van de microfoon wordt pas gesloten wanneer de abonné de hoorn van de haak neemt. Het sluiten van deze stroomkring veroorzaakt een spanningsstoot, die in de secundaire spoel van de transformator, aan de kant van de kathodes der buizen van rij *2*, de negatieve polariteit heeft. Een gelijkrichtcel (V_2), die een deel van de secundaire spoel overbrugt, begrenst de amplitude van de impuls tot circa 25 V, waarmee de kathodes voldoende negatief ten opzichte van de hulpanodes a' worden om ontsteking mogelijk te maken.

We nemen eerst aan dat alle verbindingscircuits onbezet zijn. Eén van de buizen van rij *2*, bijv. buis *2-II*, wordt dus ontstoken, waardoor de abonné *2* op een verbindingscircuit wordt aangesloten. De stroom die hierbij gaat lopen, veroorzaakt in de weerstand R_{12} een spanningsval van 60 V, die de kathodespanning van de andere buizen van rij *2* zo hoog maakt dat deze buizen niet meer kunnen worden ontstoken.

Toch is er nog een kleine kans dat de impuls meer dan één buis ontsteekt. Gedurende de korte tijd van 10^{-4} tot 10^{-5} s waarin in één van de drie buizen de hulpontlading reeds tot stand is gekomen maar de hoofdontlading nog niet, is namelijk de spanning

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

over R_{12} nog niet hoog genoeg om de twee andere buizen te blokkeren. Om te voorkomen dat in de genoemde tijd een tweede buis zou aangaan, zijn de drie hulpanodes a' door condensatoren (C_9) met elkaar gekoppeld. Wanneer nu in één van de drie buizen de hulpontlading tot stand komt, dan daalt de spanning aan deze hulpanode wegens het spanningsverlies in de weerstand R_{13}, en de condensatoren brengen deze daling voorbijgaand over op de hulpanode van de beide andere buizen. Daardoor zijn deze laatste — ook zolang er nog geen hoofdontlading in de eerste buis is ontstaan — geblokkeerd, en het geval dat een abonné met meer dan één verbindingscircuit tegelijk verbinding zou krijgen, is dus uitgesloten.

aftakking op R_{15}-R_{16} afnemen met een bijna even groot bedrag (30 V), dank zij het feit dat R_{15} een varistor is. De spanning op de hulpanodes a' van de andere buizen die toegang tot verbindingscircuit *II* kunnen geven, daalt hierdoor zo ver dat deze buizen niet kunnen worden ontstoken, zodat het bezette verbindingscircuit onbereikbaar is geworden.

Waren op het ogenblik toen abonné *2* de hoorn van de haak nam, één of twee verbindingscircuits al bezet, dan kon dus de buis van deze circuits, wegens te lage voorspanning op de hulpanode a', niet aangaan.

Men ziet dat bij deze electronische schakeling het zoeken van een vrij verbindingscircuit inderdaad voor alle verbindingscircuits tegelijk geschiedt.

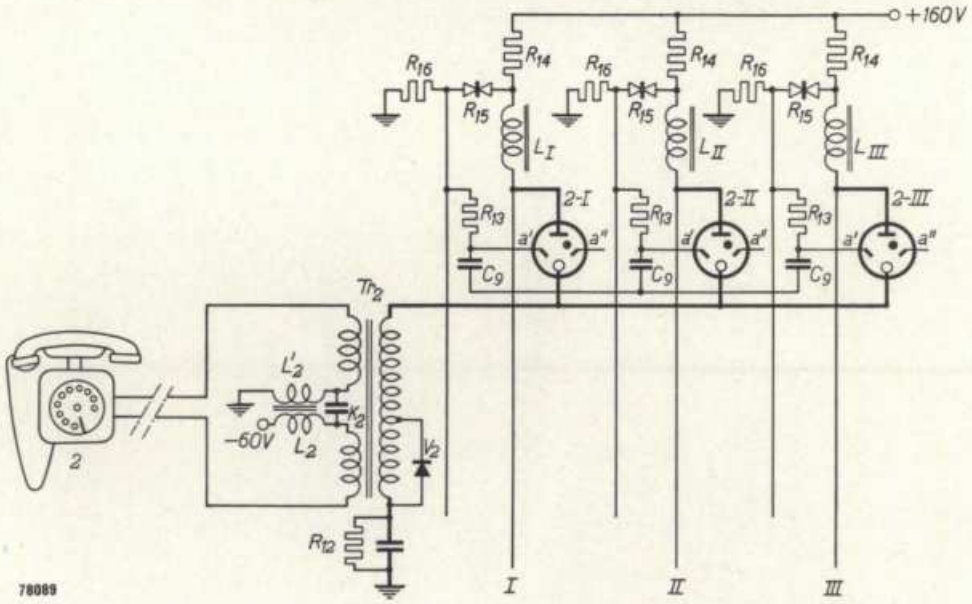


Fig. 12. Gedeelte van de schakeling van fig. 11, in meer uitgewerkte en enigszins gewijzigde vorm. Tr_2 transformator tussen de (symmetrische) lijn van abonné *2* en de (asymmetrische) verbindingscircuits *I*, *II* en *III*. De smoorspoelen L_I, L_{II} en L_{III} voorkomen dat de batterij van 160 V een kortsluiting voor de spreekstroom vormt. De spanningsdelers R_{15} (varistor)-R_{16} geven +60 V voorspanning aan de hulpanodes a'. Als de abonné op één van de vrije verbindingscircuits is aangesloten, treedt in de weerstand R_{14} van dit circuit en in R_{12} een zodanige spanningsval op dat de andere verbindingscircuits voor hem geblokkeerd zijn en dat zijn verbindingscircuit voor de andere abonné's onbereikbaar is geworden, terwijl hijzelf als bezet wordt gemarkeerd. De condensatoren C_9 zorgen ervoor dat het ontsteken van de hulpontlading over a' al voldoende is om tijdelijk te voorkomen dat er meer dan één buis tegelijk aangaat. De spoelen L_2-L_2' houden de spreekstroom buiten de batterij van 60 V en vormen een autotransformator 1 : 2 voor de wekspanning (zie later). De condensator K_2 en die parallel aan R_{12} vormen wegen voor de spreekstroom. De gelijkrichtcel V_2 begrenst de negatieve spanningsimpuls die optreedt als de abonné de hoorn van de haak neemt.

Aan de tweede blokkeringseis — dat een bezet verbindingscircuit onbereikbaar voor de andere abonné's moet zijn — is als volgt voldaan. Is, in ons voorbeeld, abonné *2* via buis *2-II* aangesloten op verbindingscircuit *II*, dan treedt er in de weerstand R_{14} van dit circuit een spanningsverlies van 40 V op, met welk bedrag dus de spanning over $R_{15}+R_{16}$ lager wordt. Dit doet de spanning aan de

Door de hoorn van de haak te nemen, heeft de abonné aansluiting op een vrij verbindingscircuit gekregen. Ons rest nu nog te bespreken hoe hij vervolgens, met behulp van zijn kiesschijf, verbinding krijgt met de opgeroepen abonné, hoe deze laatste een weksignaal en hoe eventueel de eerste een bezetsignaal krijgt, en hoe, door terugleggen van de hoorn op de haak, de verbinding wordt verbroken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Eindkiezer

In *fig. 13* zijn van de abonnétoestellen alleen het oproepende toestel *2* en het opgeroepen toestel *9* getekend, en van de verbindingscircuits alleen circuit *II*. Door het omhooggaan van de haak van toestel *2* is, naar we aannemen, buis *2-II* ontstoken. echter, zoals we boven bij de telschakeling hebben gezien, positieve impulsen nodig, met een amplitude van circa 30 V. De grootte van de impulsen aan L_{II} evenwel hangt af van de kabellengte tussen centrale en abonné. Vandaar dat tussen de smoorspoel L_{II} en de ingang van de teller

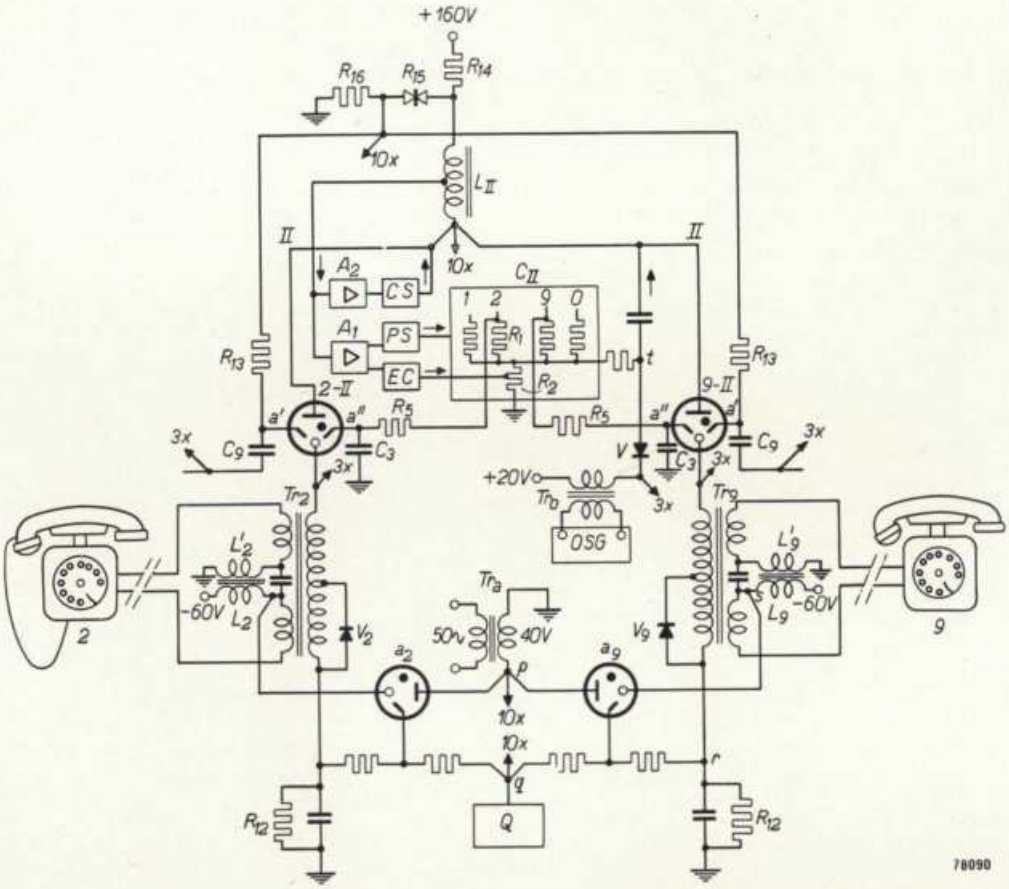


Fig. 13. Schema van de signalering en de spreekverbindingen tussen twee abonné's (*2* en *9*), via een electronische telefooncentrale. Van de drie verbindingscircuits en de 30 spreekstroombuizen (vgl. fig. 11) zijn alleen het verbindingscircuit *II* en de buizen *2-II* en *9-II* getekend. (De pijltjes met 3× en 10× geven aan dat de desbetreffende verbinding in werkelijkheid in drievoud resp. tienvoud aanwezig is.)

A_1, A_2 versterkers. *PS* impulsvormer. C_{II} tel- en markeerschakeling (zie *C*, fig. 10), behorende bij het verbindingscircuit *II*. *EC* doofinrichting van C_{II}. *CS* doofinrichting voor de spreekstroombuizen. Tr_a wekstroomtransformator (50 Hz). a_2, a_9 buizen die de wekstroom doorlaten, naar abonné *2* resp. *9*. *Q* multivibrator, die het wekrhythme bepaalt (1 s aan, 5 s uit). *OSG* bezetsignaalgenerator, met uitgangstransformator Tr_D. *V* gelijkrichtcel, die normaal niet doorlaat, maar opengaat als een in gesprek zijnde abonné wordt opgebeld, en dan het bezetsignaal doorlaat. R_5-C_3 vertragingsketens als in fig. 10. Betekenis overige letters als in fig. 12.

Bij het teruglopen van de kiesschijf ontstaat een kanteelstroom (*fig. 14a*). Deze verwekt in de spoelen van de transformator Tr_2 een spanning die evenredig is met de afgeleide van de stroom naar de tijd, en die dus bestaat uit positieve en negatieve impulsen (fig. 14*b*). Men vindt deze impulsen ook aan de smoorspoel (L_{II}) die voorkomt dat de batterij van 160 V een kortsluiting voor de spreekstromen vormt. De bedoeling nu is dat de teller C_{II} de negatieve kiesimpulsen telt. De teller heeft C_{II} (fig. 13) een versterker en een impulsvormer zijn geplaatst. De versterker (A_1) werkt met één helft van een buis ECC 81, die zo is ingesteld dat alleen negatieve impulsen worden versterkt (*fig. 15*); aan de uitgang worden positieve impulsen afgegeven. De impulsvormer (*PS*) bestaat uit een schakeling met een koudekathodebuis Z 500 T (*fig. 16*), die, dank zij een voorspanning van 60 V op de hulpanode, op de positieve impulsen van A_1 reageert en positieve impulsen van constante grootte aan de teller afgeeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Na het draaien van 9 op de kiesschijf gaat dus buis *9* van de teller branden, en daardoor wordt, zoals boven bij de registerschakeling is besproken,

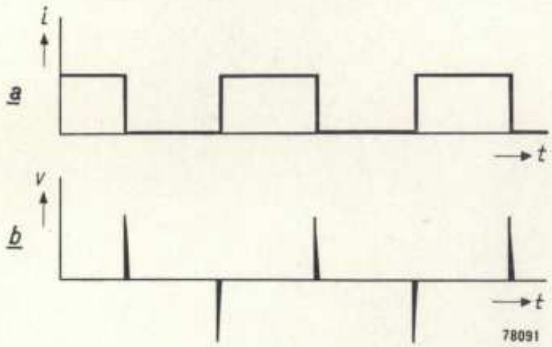


Fig. 14. Bij het teruglopen van de kiesschijf wordt door een contact de microfoonstroomketen periodiek geopend en gesloten (*a*). Aan de wikkelingen van de transformator Tr_2 (fig. 12) ontstaan daardoor positieve en negatieve spanningsimpulsen (*b*).

buis *9-II* ontstoken (via de hulpanode *a''*) — althans wanneer toestel *9* niet bezet is.

Vervolgens moet de brandende telbuis worden gedoofd. Daartoe wordt gebruik gemaakt van de plotselinge en vrij grote spanningsdaling die aan de anode van buis *9-II* optreedt wanneer deze buis aangaat (spanningsverlies in R_{14}). Deze sprong wordt door A_1 omgezet in een versterkte en van teken omgekeerde sprong, die door tussenkomst van een doofinrichting (*EC*, fig. 13) de brandende telbuis dooft. Dit geschiedt op een wijze geheel analoog aan wat boven werd besproken bij de registerschakeling (buis *E* in fig. 10). (De koudekathodebuis in *EC* heeft op de hulpanode een voorspanning van slechts 35 V en is dus minder gevoelig ingesteld dan de buis van de impulsvormer *PS*; daardoor reageert ze niet op de kiesimpulsen, wèl echter op het ontsteken van buis *9-II*.)

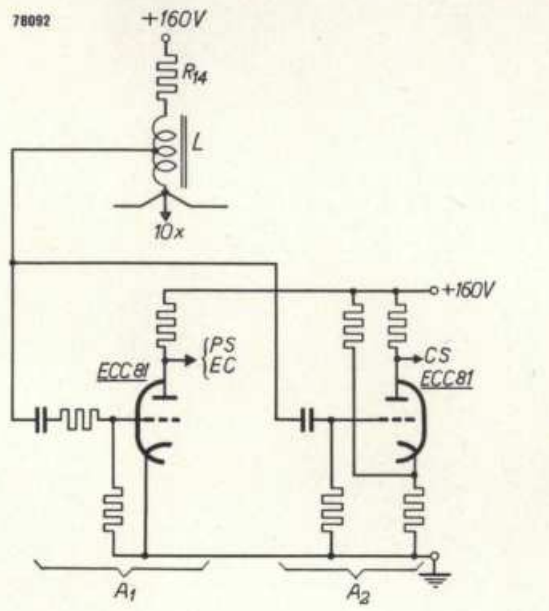


Fig. 15. Schema van de versterkers A_1 en A_2 (fig. 13), elk met een helft van een dubbele triode ECC 81. A_1 heeft geen voorspanning op het rooster en reageert daardoor alleen op negatieve impulsen; aan de anode ontstaan positieve impulsen, die naar de impulsvormer *PS* en de doofinrichting *EC* gaan. A_2 is bijna afgeknepen door een voorspanning van —8 V, die alle negatieve en ook kleine (ongewenste) positieve impulsen onwerkzaam maakt, maar grote positieve impulsen worden versterkt; deze verwekken negatieve impulsen aan de anode, die naar *CS* gaan.

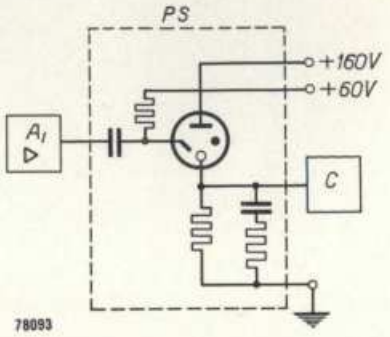


Fig. 16. Schema van de impulsvormer (*PS*, fig. 13). Een negatieve, in grootte wisselende, impuls op de ingang van de versterker A_1 (fig. 15) geeft op de ingang van *PS* een positieve impuls, die de koudekathodebuis ontsteekt. De condensator die parallel met de kathodeweerstand is geschakeld (in serie met een kleine weerstand, om de laadstroom te begrenzen), wordt geladen en maakt dat de buis uitgaat. Aan de kathode ontstaat een spanningsimpuls van constante grootte, en deze wordt toegevoerd aan de tel- en markeerschakeling *C*.

Weksignaal

Nadat de buizen *2-II* en *9-II* zijn ontstoken, moet de opgeroepen abonné *9* een weksignaal ontvangen. Gewoonlijk wordt voor het wekken een wisselspanning met een frequentie van 17 tot 25 Hz gebruikt, opgewekt door een generator, die dikwijls onafhankelijk van het electriciteitsnet wordt aangedreven. In de experimentele centrale echter gebruiken we gemakshalve een transformator (Tr_a, fig. 13), die op het net is aangesloten en secundair een spanning van 40 V, 50 Hz, geeft. Het punt *p* van de secundaire spoel is verbonden met de anode van tien koudekathodebuizen (één per abonné), waarvan in fig. 13 alleen de buizen a_2 en a_9 zijn getekend. Voor het wekken bij abonné *9* moet dus buis a_9 worden ontstoken.

De hulpanode van deze buis is verbonden met een aftakking op een spanningsdeler die tussen de punten *q* en *r* is aangesloten. De potentiaal van *q* denken we ons voorlopig nul te zijn, en zolang de buis *9-II* nog niet brandt, is ook de potentiaal van punt *r* nul, dus die van de hulpanode eveneens. Daar de kathode van buis a_9, verbonden met punt *s*, de potentiaal —60 V heeft, blijft in deze toestand de buis uit.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

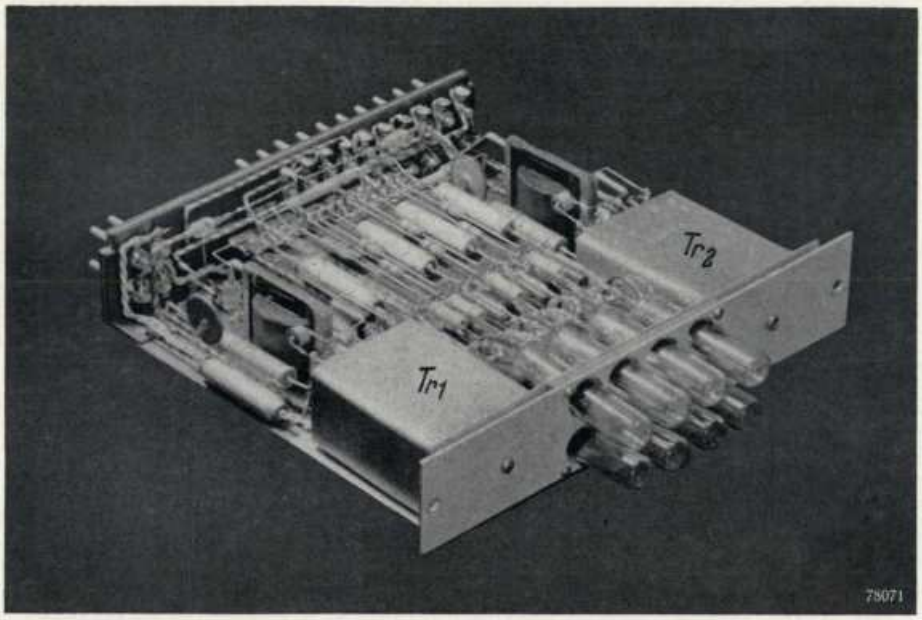


Fig. 17. Eén van de bovenste vijf laden der in fig. 5 afgebeelde centrale. Tr_1 en Tr_2 twee abonnélijntransformatoren. Daartussenin twee wekstroom- en 2×3 spreekstroombuizen.

Wanneer buis *9-II* wordt ontstoken, stijgt de potentiaal van punt r — door de spanningsval over de weerstand R_{12} tussen r en aarde — van nul tot 45 V, en de hulpanode krijgt nu voldoende spanning om de buis a_9 te ontsteken. Deze buis laat dan 50 stroomstoten per seconde door, daar in de anodeketen een gelijkspanning van 60 V en een wisselspanning van 40 V, 50 Hz, werkzaam zijn, zodat de spanning over de buis zwaait tussen circa 4 en 116 V en de buis dus elke periode uitgaat. Bij toestel *9* gaat nu de bel over (de spoelen L_9-L_9' werken daarbij als autotransformator 1 : 2), tot aldaar de hoorn van de haak wordt genomen. Er gaat dan namelijk microfoonstroom lopen o.a. door de spoel L_9; het spanningsverlies hierin doet de potentiaal van punt s (en dus de kathode van a_9) stijgen van —60 tot —30 V, waardoor a_9 uit blijft. Tevens krijgt hierdoor abonné *9* geen weksignaal wanneer hij al in gesprek is met een ander.

Dit verklaart ook waardoor de buis a_2 niet werd ontstoken toen abonné *2* de hoorn opnam en er dientengevolge stroom ging lopen door de buis *2-II* en de bijbehorende weerstand R_{12}. Weliswaar verhoogde dit de hulpanodepotentiaal van buis a_2, maar de microfoonstroom verhoogde tegelijk de kathodepotentiaal van —60 tot —30 V.

In *fig. 17* is één lade van de experimentele electronische centrale afgebeeld. Deze lade bevat de onderdelen die bij twee abonné's behoren, dus o.a. twee lijntransformatoren, 2×3 spreekstroombuizen en twee wekstroombuizen.

Gebruikelijk is niet een continu maar een periodiek onderbroken weksignaal. Om dit te verkrijgen, wordt de potentiaal van punt q afwisselend nul en —45 V gemaakt, en wel telkens één seconde lang nul en vijf seconden lang —45 V. Met —45 V op punt q kan de buis a_9 niet aangaan, ook al heeft punt r een potentiaal van +45 V. De spanningsvariatie van punt q wordt opgewekt door een multivibrator Q. *Fig. 18* geeft een multivibratorschakeling met koudekathodebuizen weer, die in het onderschrift is toegelicht.

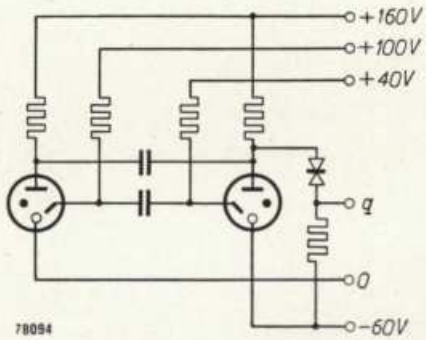


Fig. 18. Schema van de multivibrator met koudekathodebuizen (Q in fig. 13). De buizen geleiden om beurten; wegens het ongelijk zijn van de weerstanden in de hulpanodeketens is de rechterbuis telkens 5 s aan, de linkerbuis telkens 1 s. De potentiaal van het punt q (vgl. fig. 13) is afwisselend 5 s lang —45 V en 1 s lang nul. Dit bepaalt het wekrhythme.

Bezetsignaal

Er zijn twee gevallen waarin een oproepende abonné het bezetsignaal moet krijgen: 1) als de opgeroepen abonné in gesprek is, en 2) als alle verbindingscircuits bezet zijn wanneer de oproepende abonné de hoorn van de haak neemt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Geval 1: opgeroepen abonné in gesprek. De apparatuur die in dit geval voor het bezetmelden nodig is, vindt men weergegeven in fig. 13. *OSG* is de bezetsignaalgenerator, die een periodiek onderbroken spanning van bijv. 800 Hz geeft. Via een

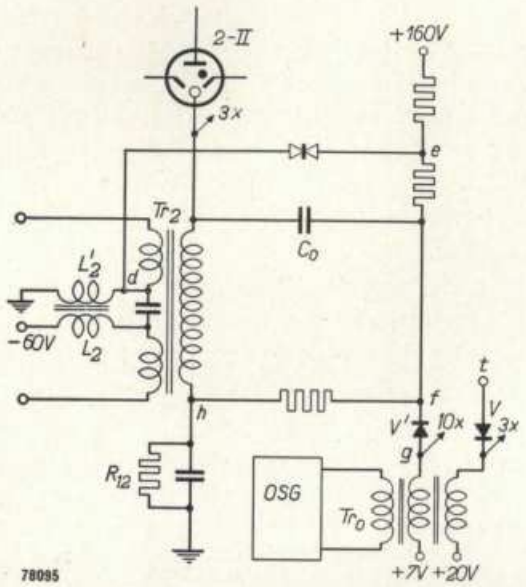


Fig. 19. Indien alle verbindingscircuits bezet zijn wanneer een abonné de hoorn van de haak neemt, moet hij het bezetsignaal krijgen. In dit geval gaat de normaliter geblokkeerde gelijkrichtcel V' open, en het bezetsignaal van de generator *OSG* komt via de transformator Tr_o, de cel V' en de condensator C_o op de transformator Tr_2, en zo op de abonnélijn.

transformator Tr_o wordt dit signaal afgenomen. Normaal echter verspert een gelijkrichtcel (V) het signaal de doorgang; de kathode van de cel heeft, afgezien van de kleine wisselspanning, een vaste potentiaal van +20 V, de anode (punt t) heeft normaal de potentiaal nul.

Als abonné *2* het cijfer 9 draait, gaat in de teller C_{II} buis *9* branden. Dit heeft *nu* echter niet tot gevolg dat buis *9-II* aangaat, want daar abonné *9* in gesprek is (via verbindingscircuit *I* of *III*), loopt er al stroom door de bij toestel *9* behorende weerstand R_{12}, en daardoor heeft de kathode van buis *9-II* een spanning van +45 V, wat het ontsteken belet. Maar als buis *9-II* niet aangaat, komt ook het doofmechanisme (via A_1-*EC*, zie boven), dat de brandende telbuis moet doven, niet in werking. De telbuis *9* blijft dus branden (ze gaat pas uit als abonné *2* de hoorn op de haak teruglegt). punt t stijgt in spanning en gelijkrichtcel V wordt geleidend, zodat op het verbindingscircuit *II* het bezetsignaal komt te staan, dat abonné *2* in zijn telefoon hoort.

Geval 2: alle verbindingscircuits bezet. Hiervoor verwijzen wij naar *fig. 19*. Men ziet hierin weer de bezetsignaalgenerator *OSG* en de transformator Tr_o. Deze laatste heeft een derde wikkeling, die verbonden is met de anodezijde (g) van een gelijkrichtcel V'. Indien deze cel een zodanige gelijkspanningspositie heeft dat ze geleidt, levert de derde wikkeling wisselstroom over een condensator C_o aan de secundaire spoel van de transformator Tr_2, en krijgt de abonné het bezetsignaal te horen. De cel verkeert alleen dan in deze toestand wanneer èn de abonné de hoorn van de haak heeft genomen èn alle verbindingscircuits bezet zijn.

Dit is als volgt in te zien. De anode van de cel, punt g, heeft (afgezien van de kleine wisselspanning) een vaste potentiaal van +7 V. De cel geleidt dus niet als de potentiaal V_f van de kathodezijde f hoger is dan 7 V, en wèl als $V_f \leqq 7$ V. De potentiaal V_f nu is het gemiddelde van de potentialen V_e van het punt e en V_h van het punt h. De potentiaal V_e hangt af van de potentiaal V_d van het punt d, dwz. van het feit of de hoorn al dan niet op de haak ligt:

hoorn op de haak . . . $V_d = 0$, $V_e = 25$ V,
hoorn van de haak . . . $V_d = -30$ V, $V_e = 0$.

De potentiaal V_h hangt af van de stroom die door de weerstand R_{12} loopt. Zijn alle verbindingscircuits bezet, dan blijven de buizen *2-I*, *2-II* en *2-III*, uit, dus $V_h = 0$; krijgt daarentegen de abonné wèl aansluiting op een verbindingscircuit, dan neemt V_h de waarde +60 V aan als één buis brandt (bijv. *2-II*), en de waarde +45 V als twee buizen branden (bijv. *2-II* en *9-II*). Er zijn dus $2 \times 3 = 6$ combinaties, maar in slechts één van deze — namelijk $V_e = 0$ en $V_h = 0$, dus de „hoorn van de haak" èn „alle verbindingscircuits bezet" — wordt V_f zo laag dat de cel V' geleidt en het bezetsignaal doorgeeft. In alle andere gevallen bijft V_f hoger dan 7 V.

Fig. 20 laat een schakeling van een bezetsignaalgenerator zien waarin twee koudekathodebuizen worden gebruikt. De linkerbuis wekt een niet-sinusvormige trilling met een grondfrequentie van 800 Hz op, en dit oscilleren wordt éénmaal per seconde door de rechterbuis even onderbroken.

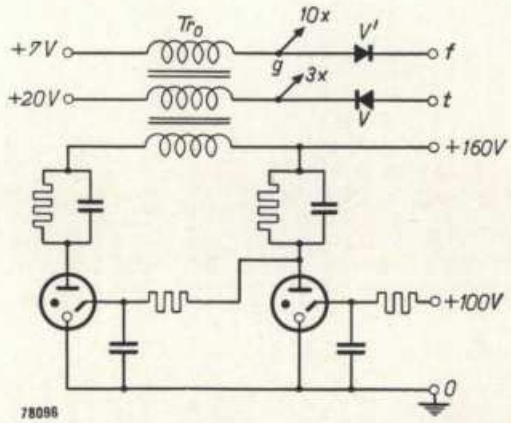


Fig. 20. Schema van een bezetsignaalgenerator met koudekathodebuizen. De linkerbuis voert een relaxatietrilling uit met grondfrequentie 800 Hz, maar wordt daarin elke seconde even onderbroken door de rechterbuis, die een relaxatietrilling met grondfrequentie 1 Hz uitvoert. Tr_o is de uitgangstransformator (vgl. fig. 13 en 19).

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Beëindiging van het gesprek

Na het eind van het gesprek moeten de buizen *2-II* en *9-II* worden gedoofd. Dit gebeurt doordat een van beide abonné's de hoorn op de haak legt. Hij verbreekt daardoor zijn microfoonstroom; dit geeft een — nu positieve — impuls op het gebruikte verbindingscircuit, en deze impuls wordt door een versterker (A_2 in fig. 13) versterkt en van teken omgekeerd (A_2 bevat de wederhelft van de buis ECC 81 van A_1, en is zo ingesteld dat alleen positieve impulsen worden versterkt, zie fig. 15). De negatieve impuls aan de uitgang van A_2 werkt op een doofinrichting (*CS*), die de buizen *2-II* en *9-II* dooft. In het geval dat abonné *9* al in gesprek was, wordt bovendien de telbuis *9* gedoofd.

Grotere electronische telefooncentrales

De boven besproken electronische centrale (fig. 5) was bedoeld ter demonstratie en tevens als practijkproef. Daarom is er voor zoveel mogelijk functies gebruik gemaakt van koudekathodebuizen. Intussen zijn ontwerpen gemaakt voor installaties van grotere pretentie, zoals centrales voor 1000 en 10 000 abonné's. Pas daarbij kan een materiaalbesparing door het gebruik van traagheidsloze instelorganen, waarvan in het begin van dit artikel sprake was, tot zijn recht komen. Met electronische registers en kiezers bijv. heeft men minder instelorganen nodig dan met een trager werkende apparatuur.

Het zou van weinig technisch inzicht getuigen als ook bij deze ontwerpen werd vooropgesteld dat alle, of bijna alle, buizen van het koudekathodetype moeten zijn. Integendeel, de talrijke mogelijkheden dienen in al hun aspecten te worden beschouwd en tegen elkaar afgewogen. Dit omvangrijke werk is nog niet afgesloten. Het is echter wel zeker dat in de telecommunicatie en aanverwante gebieden een groot terrein voor de nieuwe buizen braak ligt.

Samenvatting. Besproken wordt een gasontladingsbuis met koude oxydekathode, een anode en één of twee hulpanodes (type Z 500 T resp. Z 501 T), die in velerlei functies in de telecommunicatie en aanverwante gebieden dienst kan doen. De buis is gevuld met argon en werkt met een glimontlading. Ze heeft tussen anode (+) en kathode (—) een ontsteekspanning van meer dan 175 V bij stroomloze hulpanode(s); met hulpanodestroom ligt de ontsteekspanning, al naar de grootte van de hulpanodestroom, tussen 175 V en ca. 70 V. De ontsteekspanning van de hulpanode is 65 tot 78 V. Bij een anodestroom van 6 mA is de impedantie voor spreekstroom omstreeks 500 ohm. Verwacht wordt dat de levensduur gemiddeld meer dan 6000 uur (werkelijke brandduur) zal bedragen, en wellicht aanzienlijk meer.

Talrijke schakelingen met dit type buis passeren de revue, schakelingen waaruit blijkt dat de buis dienst kan doen als relais (met allerlei contactencombinaties), in tellers, markeerschakelingen, registers, voorkiezers, eindkiezers, signaleringsschakelingen, multivibrators, enz. De meeste van de beschreven schakelingen maken deel uit van een experimentele, geheel electronisch werkende, telefooncentrale, die sinds enige jaren in het Philipslaboratorium te Eindhoven in werking is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

ROOSTERFOUTEN EN PLASTISCHE DEFORMATIE VAN METALEN

II. GEDRAG VAN ROOSTERFOUTEN TIJDENS DE DEFORMATIE

door H. G. van BUEREN.

548.4:539.374:669

In een voorafgaand artikel werden de algemene eigenschappen van roosterfouten zoals vacatures, interstitiële atomen en dislocaties van een theoretisch standpunt uit besproken. Met behulp van de ontwikkelde voorstellingen blijkt het nu mogelijk een inzicht te krijgen in diverse met de plastische deformatie van metalen samenhangende en voor de practijk belangrijke verschijnselen, zoals de versteviging, de veroudering van legeringen en de electrische weerstandsveranderingen.

Glijlijnen

Het belangrijkste deformatieproces in metalen is de glijding van twee gedeelten van een metaalkristal over elkaar. Zoals in een voorafgaand artikel [1]) is besproken, kunnen zowel de waargenomen glijdingen over vele atoomafstanden op één glijvlak, als de geringe grootte van de waargenoemen kritische schuifspanning τ_{kr} — vergeleken met de theoretische waarde $G/2\pi$ — worden verklaard door het invoeren van speciale roosterfouten, die men dislocaties genoemd heeft, en die in groten getale tijdens de deformatie zelf door zg. Frank-Readbronnen worden gegenereerd (uitzending van dislocatieringen, zie I).

In principe is er geen grens gesteld aan het aantal dislocaties dat door een bron kan worden geleverd. Toch worden in de practijk zelden glijdingen van meer dan 1000 atoomafstanden op één glijvlak waargenomen, terwijl de meeste glijlijnen slechts verschuivingen tussen enkele tientallen en enkele honderden atoomafstanden vertegenwoordigen. Volgens diverse onderzoekers [2]) [3]) moet deze beperking van het aantal uitgezonden dislocatieringen voornamelijk worden toegeschreven aan de, de vervormende spanning tegenwerkende, spanningen die de uitgezonden dislocaties ter plaatse van de bron veroorzaken, en die, als ze groot genoeg worden, de werking van de bron kunnen doen ophouden.

Het spanningsveld rondom een dislocatie is vrij gecompliceerd. Zonder op de afleiding ervan in te gaan, vermelden wij dat op een afstand r van een dislocatie-as spanningen optreden ter grootte van

$$\tau \approx \frac{Gb}{2\pi r}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin G de glijdingsmodulus van het materiaal en b de Burgersvector van de dislocatie is. In het centrum van een dislocatiering met straal R, die door een Frank-Readbron is gevormd, heeft deze spanning het karakter van een schuifspanning die tegengesteld is gericht aan de schuifspanning die de bron doet werken. De grootte van de „tegenspanning" veroorzaakt door de dislocatiering bedraagt volgens (1) ongeveer

$$\tau_t \approx \frac{Gb}{2\pi R}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Bij aanwezigheid van meer dislocatieringen is de totale tegenspanning ter plaatse van de bron vrijwel gelijk aan de som van de tegenspanningen die de afzonderlijke ringen elk zouden veroorzaken als ze alleen aanwezig waren.

De kritische schuifspanning nodig om een Frank-Readbron te doen werken, bedraagt

$$\tau_0 \approx Gb/l, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

waarin l de lengte van de bron is (zie I, formule (3)). Zodra de door de belasting veroorzaakte schuifspanning deze waarde overschrijdt, gaat de bron dislocatieringen uitzenden. Door Fisher, Hart en Pry [2]) is opgemerkt, dat als een Frank-Read bron eenmaal geactiveerd is, de schuifspanning die minstens vereist is om de bron te laten doorgaan met ringen uitzenden slechts ongeveer $^1/_3$ van de door (3) gegeven waarde bedraagt. Als dit niet het geval was, maar steeds de volledige schuif-

[1]) H. G. van Bueren, Roosterfouten en plastische deformatie van metalen, I. Aard en eigenschappen van roosterfouten, in het bijzonder van dislocaties, Philips techn. T. **15**, 266-278, 1953. Dit artikel wordt verder aangehaald als I.

[2]) J. C. Fisher, E. W. Hart en R. H. Pry, Phys. Rev. **87**, 958, 1952.

[3]) N. F. Mott, Phil. Mag. **43**, 1151, 1952 en **44**, 742, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

spanning τ_0 nodig zou zijn om de werking van de bron aan de gang te houden, zou (bij gelijkblijvende belasting) elke Frank-Readbron reeds na één ring te hebben uitgezonden ophouden met werken, daar de tegenspanning van die ring reeds voldoende zou zijn om de schuifspanning ter plaatse van de bron beneden de kritische waarde (3) te doen dalen. Opdat in werkelijkheid de bron zal ophouden, moet de tegenspanning echter een aanmerkelijke waarde, van de orde van grootte van $\frac{2}{3}\tau_0$, bereiken.

Als we aannemen dat een dislocatiering die door een Frank-Readbron wordt uitgezonden niet in zijn geheel het kristal verlaat, maar, althans voor een gedeelte, in de buurt van de bron wordt vastgehouden, zodat zij voor een blijvende tegenspanning kan zorgdragen, kunnen we de beperkte werking van een Frank-Readbron begrijpen als een gevolg van de voortdurende toeneming van de totale tegenspanning als het aantal uitgezonden ringen stijgt. Wordt het aantal uitgezonden dislocatieringen zo groot dat de totale blijvende tegenspanning van de orde van grootte van τ_0 wordt, dan zal de bron met werken ophouden. De bovengenoemde onderstelling schijnt niet ongerechtvaardigd: dislocaties kunnen tijdens hun beweging door het kristal vastlopen door verschillende oorzaken. De voornaamste hiervan is de aanwezigheid van nog andere dislocaties in het kristal. Zoals in I is besproken, is het waarschijnlijk dat in een onvervormd kristal een netwerk van dislocaties aanwezig is (waarvan de elementen eventueel als Frank-Readbronnen kunnen fungeren). Rondom deze dislocaties zijn elastische spanningsvelden aanwezig, en de spanningen kunnen plaatselijk een zo grote waarde bereiken, dat een aankomende ring weinig of niets zal merken van de vervormende schuifspanning die hem tracht te doen uitdijen. Anderzijds zal een dislocatiering na het doorsnijden van elementen van het dislocatienetwerk knikken vertonen, die bij verdere beweging in het algemeen nieuwe roosterfouten doen ontstaan, zoals in I is uiteengezet. Naarmate de ring verder uitdijt, wordt het aantal nieuw te vormen roosterfouten steeds groter, en de energie die hiervoor nodig is kan ten slotte door de vervormende spanning niet meer worden geleverd, zodat ook door deze oorzaak de ring tot staan komt.

Door het blijven steken van een groot deel der dislocatieringen van elke Frank-Readbron zal met toenemende deformatie, waarbij steeds nieuwe bronnen worden geactiveerd, de totale dislocatiedichtheid in het metaal gestadig toenemen. Van deze belangrijke conclusie zal in het vervolg nog herhaaldelijk gebruik worden gemaakt.

Keren wij nu terug naar de experimentele gegevens. Recent electronenmicroscopisch onderzoek [4]) heeft aan het licht gebracht, dat de onder het gewone microscoop waargenomen glijbanden op het oppervlak van een vervormd metaal, die in het algemeen zijn opgebouwd uit een groot aantal dicht naast elkaar gelegen en zich over lange afstanden uitstrekkende glijlijnen — elk een translatie van ettelijke honderden atoomafstanden per glijvlak vertegenwoordigend —, slechts bijzondere gevallen vormen van een veel homogenere glijlijnenverdeling. Het gehele oppervlak van het vervormde metaalkristal (bestudeerd zijn aluminium, koper en zilver) blijkt vrijwel homogeen bedekt te zijn met korte fijne glijlijntjes (10^{-3} cm tot 10^{-2} cm lang), zg. elementairlijnen, die elk voor zich met afschuivingen van slechts enkele tientallen atoomafstanden corresponderen (*fig. 1*). Slechts hier en daar treden de reeds genoemde opvallende glijbanden op (*fig. 2*).

Fig. 1. Elementairlijnen op het oppervlak van een enkele procenten gerekt aluminiumkristal. Vergroting 20000 ×. (Fig. 1 en 2 zijn ontleend aan H. Wilsdorf en D. Kuhlmann-Wilsdorf, Z. angew. Physik **4**, 341, 1952.)

Fig. 2. Glijband op het oppervlak van een vervormd aluminiumkristal die geleidelijk overgaat in de elementairstructuur. Vergroting 15000 ×.

[4]) D. Kuhlmann-Wilsdorf en H. Wilsdorf, Acta Metallurgica **1**, 394, 1953.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Indien wij de vorming van elementairlijnen en glijlijnen mogen interpreteren als een eigenschap inhaerent aan het gehele kristal, en niet slechts als een oppervlakteverschijnsel, dan worden wij geleid tot de conclusie dat in het algemeen een Frank-Readbron slechts enkele tientallen dislocatieringen emitteert, die slechts een beperkte afstand op hun glijvlakken afleggen. Waar zulk een „zone" van dislocaties het metaaloppervlak snijdt, ontstaat een stapje op het oppervlak, dwz. een elementairlijn. De hoogte van het stapje, d.i. de translatie die de elementairlijn vertegenwoordigt, bedraagt hoogstens enkele tientallen atoomafstanden; de lengte van de lijn is van de orde van de diameter van de dislocatiezone (die nog gedeeltelijk binnen het kristal aanwezig is).

Bronnen die ver onder het oppervlak van het kristal liggen, zullen geen waarneembare glijlijnen produceren. Deze bronnen zullen in het bovenbeschreven beeld door een aantal dislocatieringen zijn omgeven, die in hun geheel binnen het kristal verlopen. Berekeningen over het gedrag van Frank-Readbronnen in een kristal staven deze conclusie [5]). De sterke, lange glijlijnen zal men min of meer als een toevalsproduct moeten beschouwen. Enkele gunstig gelegen Frank-Readbronnen zijn blijkbaar in staat een veel groter aantal dislocatieringen uit te zenden dan het merendeel der andere bronnen. Uit het waargenomen feit dat de sterke glijlijnen vaak in groepjes (glijbanden) voorkomen, zou dan volgen dat er bepaalde gebieden van een zekere uitbreiding in het kristal bestaan waar de obstructie van bewegende dislocatieringen zeer gering is, of, als alternatief, dat de vorming van een abnormaal groot aantal ringen op één glijvlak de vorming van eveneens grote aantallen ringen op naburige glijvlakken in de hand werkt. Hierover, en ook over de invloed van de temperatuur op de glijlijnenstructuur, die wel niet zeer uitgesproken is maar toch aanwezig, zijn op dit ogenblik nog slechts gissingen mogelijk.

De geringe waargenomen kritische schuifspanning van metalen berust in het boven beschreven beeld geheel op de aanwezigheid van Frank-Readbronnen. Men moet verwachten dat bij kristallen van zeer kleine afmetingen, waarvoor de kans om er een bron in aan te treffen zeer gering wordt, de kritische schuifspanning veel hoger zal liggen dan bij grotere kristallen en de theoretische waarde $G/2\pi$ zal moeten benaderen. Door een toeval heeft men dergelijke kleine eenkristallen tot zijn beschikking gekregen. Men nam waar [6]) dat aan het oppervlak van laagsmeltende metalen onder bepaalde atmosferische omstandigheden soms draden met een doorsnede van ongeveer 10^{-4} cm ontstonden, zg. whiskers, die een lengte van enkele mm konden bereiken. Experimenten hebben aangetoond [7]), dat aan deze whiskers zeer grote elastische vervormingen kunnen worden meegedeeld, zonder dat enige plastische vervorming optreedt. Opdat plastische vervorming zal plaats hebben, moet men in het geval van whiskers van tin spanningen van tientallen kg/mm² aanbrengen, terwijl grotere kristallen reeds plastisch vervormen bij spanningen van de orde van 0,1 kg/mm². (De theoretische schuifspanning $G/2\pi$ van tinkristallen bedraagt ca. 200 kg/mm².)

Versteviging

De reeds aangestipte toeneming van het aantal dislocaties in een metaal door het blijven steken van de door Frank-Readbronnen uitgezonden dislocatieringen, zal tot gevolg hebben dat, naarmate de vervorming voortschrijdt, de spanning nodig om een verdere vervorming te bewerkstelligen voortdurend groter wordt. Er zal dus versteviging optreden. De quantitatieve uitwerking van deze voorstelling, die de versteviging in verband brengt met de wisselwerking van dislocaties, stuit op grote moeilijkheden, o.a. doordat men nog steeds in het onzekere verkeert over de wijze waarop de dislocaties in het metaalkristal zijn gerangschikt, met andere woorden, welke de structuur is van een vervormd kristal.

De wisselwerking tussen dislocaties zal eerst dan van belang worden, als de krachten die de dislocaties op elkaar uitoefenen gemiddeld van dezelfde orde van grootte worden als de krachten die zij ondervinden als gevolg van de vervormende spanningen in het metaal. Berekening leert dat dit het geval is als de gemiddelde onderlinge afstand van de dislocaties ca. 10^{-4} cm of minder bedraagt, met andere woorden, als de dislocatiedichtheid, gedefinieerd door de totale lengte aan dislocaties aanwezig in 1 cm³ van het metaal, 10^8 cm^{-2} of groter is.

Wij willen deze berekening hier zeer geschematiseerd weergeven.

Beschouw twee evenwijdige dislocaties ter lengte a, met Burgersvectoren b, die zich bevinden op onderlinge afstand d. De spanningen ter plaatse van dislocatie *2* als gevolg van de aanwezigheid van dislocatie *1* zijn volgens formule (1) van de orde van

$$\tau \approx \frac{Gb}{2\pi d}.$$

Beweegt nu dislocatie *2* over een atoomafstand, dus over een afstand van de orde van b, in dit spanningsveld, dan zal daarmede een verandering van de energie van het systeem der twee dislocaties en het omringende kristalrooster gepaard gaan, waarvoor we als gemiddelde waarde zullen vinden:

$$\Delta E = \int_0^b \tau a b \, dx \approx \frac{Gb^2 a}{4\pi d}.$$

[5]) H. G. van Bueren, Acta Metallurgica **1**, 464, 1953.
[6]) K. G. Compton, A. Mendizza en S. M. Arnold, Corrosion **7**, 327, 1951.
[7]) C. Herring en J. V. Galt, Phys. Rev. **85**, 1061, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De kracht per lengte-eenheid die de dislocaties op elkaar uitoefenen is dan, afgezien van het teken, van de orde van grootte

$$F \approx \frac{3\Delta E}{ab} \approx \frac{3}{4\pi}\frac{Gb^2}{d} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Vaak wordt deze kracht uitgedrukt in de equivalente schuifspanning τ_F, dat is die schuifspanning die op de dislocatie *2* dezelfde kracht zou uitoefenen als dislocatie *1* nu doet. Volgens I, formule (1), is het verband tussen schuifspanning en kracht op een dislocatie gegeven door

$$F = \tau_F b ,$$

zodat we voor de absolute waarde van de equivalente schuifspanning tussen twee evenwijdige dislocaties op afstand d vinden:

$$\tau_F \approx \frac{3}{4\pi}\frac{Gb}{d} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Deze uitdrukking, afgeleid voor twee evenwijdige dislocaties, blijft in orde van grootte van kracht voor twee dislocaties van willekeurige onderlinge orientatie. De waargenomen kritische schuifspanning van een metaal, dat is volgens de theorie de schuifspanning nodig om een Frank-Readbron te doen werken, was gegeven door (1):

$$\tau_{kr} \approx \frac{Gb}{l} ,$$

waarin l, de lengte van de bron, meestentijds van de orde van enkele malen 10^{-4} cm blijkt te zijn. Als twee dislocaties elkaar tijdens het glijproces naderen tot op een afstand d van de orde van $3l/4\pi$, d.i. ca. 10^{-4} cm, wordt de kracht tussen de dislocaties dus gemiddeld van dezelfde orde van grootte als de kracht op de dislocaties uitgeoefend door de vervormende spanning. De wisselwerking wordt dus van belang als de gemiddelde afstand tussen de dislocaties van de orde van 10^{-4} cm wordt.

Neemt de vervorming en daarmede de dislocatiedichtheid toe, dan neemt de gemiddelde afstand tussen de dislocaties ruwweg omgekeerd evenredig met de wortel uit de dislocatiedichtheid af, en dus neemt de kracht nodig om een verdere vervorming, dwz. een verder bewegen van de dislocaties langs elkaar, te bewerkstelligen, ongeveer evenredig met de wortel uit de dislocatiedichtheid toe.

De uitkomsten van het röntgendiffractie-onderzoek van metalen maken het waarschijnlijk dat de dichtheid van de dislocaties in een onvervormd metaalkristal ligt tussen 10^7 en 10^8 cm^{-2}, terwijl in sterk vervormde materialen dislocatiedichtheden van 10^{10} tot 10^{12} cm^{-2} geen uitzondering schijnen te zijn [8]). De laatste conclusie wordt bevestigd door metingen van de inwendige demping van metalen, en het onderzoek van de kristalgrenzen. Deze dichtheden komen goed overeen met die welke men volgens de bovenbeschreven eenvoudige overwegingen kan afleiden uit de versteviging die waargenomen is in sterk vervormde materialen en waarbij schuifspanningen van 10 tot 100× de oorspronkelijke waarde nodig zijn om een verdere plastische vervorming te bewerkstelligen.

[8]) Zie bijv. A. H. Cottrell, Dislocations and plastic flow in crystals, Oxford University Press, Oxford 1953, pag. 100 e.v. en 153 e.v.

Wat betreft het verband tussen spanning σ en vervorming ε, dus de vorm van de verstevigingskromme, is tot op heden nog geen bevredigende overeenstemming tussen theorie en waarnemingen bereikt. Onderstelt men dat de dislocaties homogeen door het gedeformeerde kristal verdeeld zijn (een onderstelling die zich echter moeilijk laat rijmen met het vormingsmechanisme van dislocaties uit Frank-Readbronnen), dan komt men tot een verband van de vorm:

$$\sigma \sim \varepsilon^{\frac{1}{2}} . \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Nauwkeurige experimenten hebben aangetoond dat in hexagonale metalen, als magnesium, zink en cadmium, die gewoonlijk slechts glijding op de basisvlakken vertonen, en in kubisch vlakkengecentreerde metalen, zoals koper, goud en aluminium, als men er voor zorg draagt dat slechts één glijsysteem werkzaam is, de verstevigingskromme in plaats van de voorspelde parabolische vorm (6) te bezitten, nagenoeg lineair verloopt, en dat bovendien de waargenomen toeneming van de kritische schuifspanning tijdens de vervorming veel geringer is dan uit het bovenstaande zou volgen. Daarentegen vindt men, indien verscheidene glijsystemen gelijktijdig aan de vervorming meedoen — een geval dat bijna steeds in kubische metalen optreedt —, veelal wel een parabolische versteviging skromme, die veel beter klopt met de eenvoudige formule (6) (*fig. 3*).

Het verschil tussen beide gevallen is waarschijnlijk dat in het geval van enkelvoudige glijding weinig

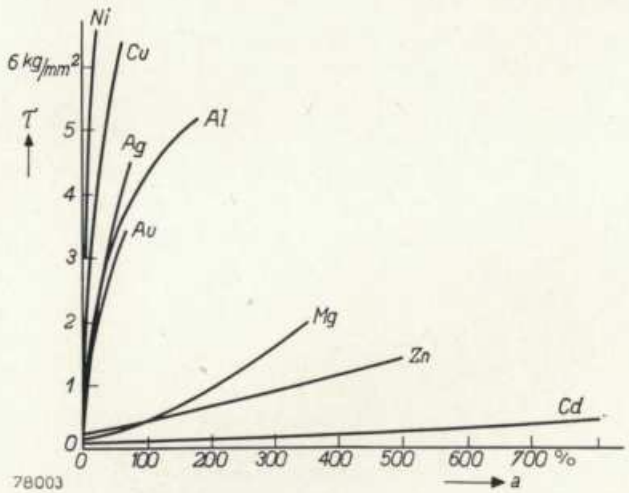


Fig. 3. Verstevigingskrommen van hexagonale en van kubische metalen. De krommen hebben betrekking op eenkristallen. Uitgezet is de schuifspanning τ als functie van de relatieve afschuiving a in procenten. De kubische metalen (Cu, Ag, Ni enz.) vertonen een veel grotere versteviging dan de hexagonale (Mg, Zn, enz.); bovendien verloopt de versteviging in de kubische metalen nagenoeg parabolisch, in hexagonale metalen nagenoeg lineair. (Ontleend aan G. Masing, Lehrbuch der allgemeinen Metallkunde, Springer, Berlijn 1950, pag. 362.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

doorsnijding van dislocaties onderling plaats vindt, in het tweede geval van meervoudige glijding daarentegen doorsnijding van dislocaties veelvuldig zal optreden, waardoor o.a. nieuwe roosterfouten moeten worden gevormd, zodat kwalitatief de grotere versteviging kan worden begrepen. De bovenbeschreven theoretische overwegingen zijn dan echter niet meer geldig. Een oplossing uit deze moeilijkheden zal pas kunnen worden gevonden indien meer informatie omtrent de structuur van een vervormd kristal bekend is.

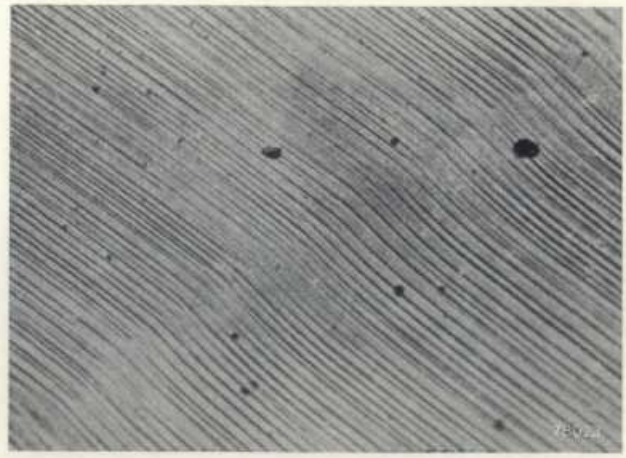


Fig. 4. Deformatieband op een 20% gerekt aluminiumkristal. Vergroting 250×. Let op de kromming der glijlijnen. (Fig. 4, 6 en 8 zijn ontleend aan R. W. Cahn, J. Inst. Metals **79**, 129, 1951.)

Deformatiebanden, polygonisatie en herstel

Experimentele aanwijzingen voor het belemmeren van de beweging van dislocaties zijn gevonden zowel bij het microscopisch als bij het röntgendiffractie-onderzoek. Behalve de glijlijnen, al dan niet in glijbanden geconcentreerd, neemt men op het oppervlak van vervormde metalen nog andere structuren waar, die de verzamelnaam deformatiebanden hebben gekregen. *Fig. 4* geeft hiervan een voorbeeld. In de buurt van zulke banden is het patroon van de, die banden snijdende, glijlijnen, gekromd, hetgeen een aanwijzing is voor dan aanmerkelijk, en een waarneembare kromming is het gevolg. Een deformatieband denkt men zich tegenwoordig ontstaan volgens het mechanisme dat schematisch in *fig. 5* is afgebeeld. Een aantal Frank-Readbronnen heeft onder invloed van een schuifspanning dislocatieringen gevormd, waar-

Fig. 5. *a*) Na het aanbrengen van een schuifspanning τ in een kristal worden diverse Frank-Readbronnen *F* geactiveerd en zenden deze dislocatieringen uit. In de figuur zijn door de symbolen ⊥ en ⊤ de doorsneden van de lijngedeelten van deze dislocatieringen met het vlak van tekening voorgesteld. Het horizontale lijntje geeft de orientatie van het glijvlak, het verticale lijntje die van het extra-halfvlak van atomen. *b*) Na voortdurende belasting heeft zich op een aantal glijvlakken een opstopping van dislocaties van gelijk teken gevormd. Hierdoor ontstaat een kromming in die glijvlakken. De afgebeelde configuratie van dislocaties correspondeert met een deformatieband. (Fig. 5*b* en 7 zijn ontleend aan A. H. Cottrell, Dislocations and plastic flow in crystals, Oxford University Press, Oxford 1953, pag. 166.)

het gekromd zijn van de kristalvlakken. Zulk een kromming kan het gevolg zijn van de aanwezigheid van dislocaties. Een enkele lijndislocatie heeft noodzakelijkerwijs reeds een kromming van het kristalrooster ten gevolge, daar het aantal atoomvlakken aan weerszijden van het glijvlak één verschilt. Deze kromming is echter te gering om te kunnen worden waargenomen. Anders is het als ergens in het kristal een opeenhoping van dislocaties van hetzelfde teken aanwezig is, zoals bijv. kan ontstaan als de ringen van een Frank-Readbron ergens worden vastgehouden. Het aantal roostervlakken aan weerszijden van het glijvlak verschilt van in de figuur slechts de doorsneden loodrecht op de zuivere lijngedeelten zijn getekend. Alle dislocaties van één bron hebben hetzelfde teken, de dislocaties die uit bronnen links in de figuur stammen (en die dus naar rechts bewogen hebben) verschillen in teken van de dislocaties die uit bronnen rechts in de figuur stammen. In het gebied waarin de dislocaties elkaar ontmoeten wordt hun beweging afgeremd, en ten slotte ontstaat een opstopping zoals in fig. 5*b* is getekend. De kromming van de glijvlakken die van deze opstopping het gevolg is, is in deze figuur aangegeven. Zij komt overeen met de kromming van de glijvlakken in fig. 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De opeenhoping van dislocaties vertegenwoordigt een grote concentratie van energie. Rondom de deformatieband heersen grote spanningen, die tot gevolg hebben dat naburige dislocaties op andere glijsystemen zullen gaan bewegen. Als deze dislocaties de glijvlakken van de deformatieband bereiken, zullen zij daar door de reeds aanwezige dislocaties kunnen worden vastgehouden. Men heeft aangetoond [9]), dat dan in kubische metaalkristallen een zeer effectief obstakel voor de beweging van de oorspronkelijke dislocaties kan worden gevormd. Dit proces is volgens Mott [3]) verantwoordelijk voor het niet teruglopen van de dislocaties in de deformatieband als de aangelegde spanning wordt opgeheven. De opstopping kan alleen maar worden opgeheven door het bewegen der dislocaties uit hun glijvlakken. Dergelijke „klimmende" bewegingen zijn echter niet-conservatief (zie I) en zullen slechts met een redelijke frequentie plaats vinden bij voldoend hoge temperatuur (enkele honderden °C). Na gloeien van een vervormd metaal blijken de deformatiebanden inderdaad een wijziging in hun uiterlijk te hebben ondergaan, zoals in *fig. 6* is afgebeeld. De glijvlakken die de

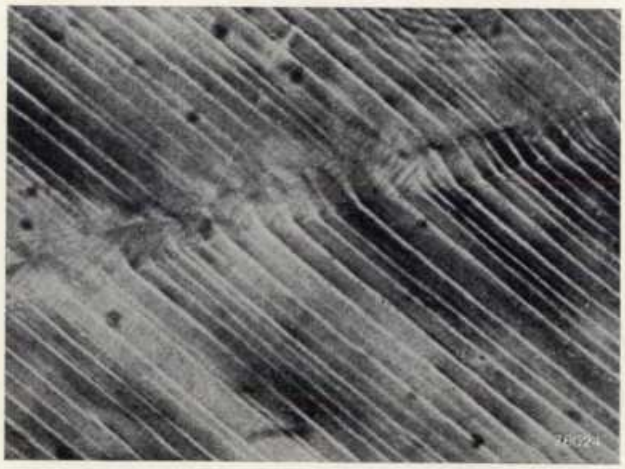


Fig. 6. Gepolygoniseerde deformatieband op een 31% gerekt aluminiumkristal, dat na de vervorming gedurende 1 uur op 450 °C is gegloeid. Vergroting ca. 200×.

band snijden zijn niet meer gekromd, doch vertonen scherpe knikken. Men verklaart dit door aan te nemen dat door de klimmende beweging van de dislocaties uit de oorspronkelijke deformatieband een configuratie is ontstaan zoals in *fig. 7* is voorgesteld. Deze configuratie vertegenwoordigt een veel geringere energie dan de oorspronkelijke, daar nu het extra-halfvlak van elke dislocatie zich juist bevindt in het te ijl gepakte gebied van het rooster dat behoort bij de volgende dislocatie.

[9]) W. M. Lomer, Phil. Mag. **42**, 1327, 1951; A. H. Cottrell, Phil. Mag. **43**, 645, 1952.

Deze hergroepering van dislocaties in configuraties die de eigenschappen van kristalgrenzen vertonen — de dislocaties vormen nl. wanden die twee gebieden met verschillende orientatie scheiden —, heeft de naam polygonisatie verkregen. Doordat

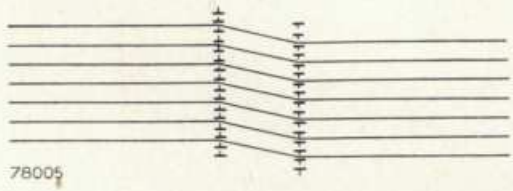


Fig. 7. Bij voldoend hoge temperatuur kunnen de dislocaties in een deformatieband zoals in fig. 5*b* is getekend, uit hun glijvlakken bewegen en energetisch gunstiger posities innemen. Er ontstaat dan een gepolygoniseerde deformatieband.

hierbij de spanningen in het rooster aanzienlijk zijn afgenomen, is de beweeglijkheid der dislocaties toegenomen, en daarmede de vervormbaarheid: de versteviging is voor een groot deel tenietgedaan. Dit is wat men herstel noemt.

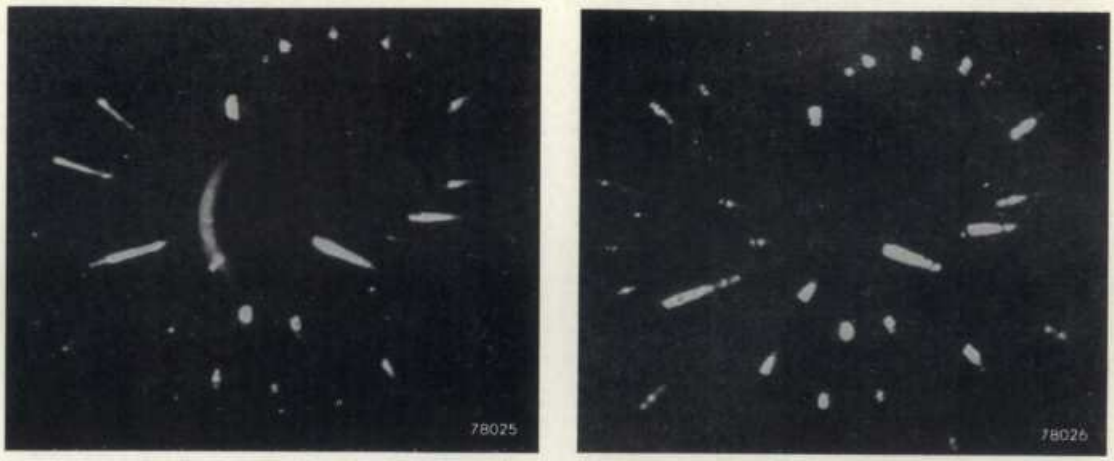
In de meeste metalen treedt herstel op door gloeien bij 400 à 500 °C. Bij nog hogere verhitting vindt rekristallisatie plaats. Bij dit laatste proces moet men aannemen dat de door de plastische deformatie gevormde roosterfouten nagenoeg volledig verdwijnen, daar een gerekristalliseerd metaal vrijwel dezelfde eigenschappen heeft als het oorspronkelijke, niet vervormde metaal.

Polygonisatie verraadt zich ook in het Laue-röntgendiffractiebeeld van een metaal; het verschijnsel is daaraan zelfs het eerst waargenomen. Het diffractiebeeld van een onvervormd metaal bestaat uit een aantal scherpe punten. Door de vervorming worden deze punten uitgerekt tot strepen, die voor het merendeel radiaal gericht zijn, zg. asterismen (*fig. 8a*). Na uitgloeien op de hersteltemperatuur blijkt het karakter van de asterismen te zijn veranderd: de continue diffractievlekken zijn overgegaan in rijen discrete vlekken (fig. 8*b*). Deze verandering in het diffractiebeeld wijst op het ontstaan van een substructuur in het kristal, dwz. van diverse kristalgedeelten die onderling enigszins verschillende ruimtelijke orientaties hebben. De identificatie van deze substructuur met de structuur die ontstaat na polygonisatie, dwz. na het vormen van een aantal polygonisatiegrenzen in het kristal, ligt voor de hand.

Wij willen hier de bespreking van de moderne inzichten omtrent het gedrag van dislocaties beëindigen en onze aandacht richten op enkele andere verschijnselen waarbij de tijdens een plastische deformatie gevormde roosterfouten een rol spelen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023



a *b*

Fig. 8. *a*) Laue-doorstralingsdiagram van een 7% gerekt aluminiumkristal. De vervorming verraadt zich in de uitgerekte diffractievlekken (asterismen). *b*) Hetzelfde kristal na 36 uur gloeien op 590 °C. De asterismen zijn nu gesplitst in discrete vlekjes.

Invloed van roosterfouten in legeringen

De invloed van roosterfouten in legeringen is drieërlei: zij vergemakkelijken de diffusie, van de vreemde atomen zowel als van die van het metaal; zij bevorderen het ontstaan van kiemen van een nieuwe phase, en zij kunnen als „vangplaatsen" voor vreemde atomen dienen. Dank zij de eerste twee effecten worden phase-overgangen, rekristallisatie, precipitatie enz. door de aanwezigheid van roosterfouten sterk bevorderd. Het ligt dan ook voor de hand dat plastische deformatie, waarbij roosterfouten ontstaan, deze verschijnselen aanmerkelijk kan versnellen. Wij willen hier slechts de experimenten noemen over de verhoging van de precipitatiesnelheid van koper in aluminium door koudbewerking [10]). De precipitatiesnelheid in aluminium met 4% koper, dat van te voren gewalst is tot 10% van zijn oorspronkelijke doorsnede, is ca. 1000 × groter dan in het onvervormde materiaal. De precipitatie blijkt na microscopisch onderzoek bij voorkeur op de glijvlakken plaats te vinden, dus in de gebieden van het rooster waar de vervorming is geconcentreerd.

Ook de veroudering van legeringen, dit is de geleidelijke verandering van de hardheid bijv. na afschrikken, wordt beïnvloed door de aanwezigheid van roosterfouten. Zoals reeds vroeger in dit tijdschrift is uiteengezet [11]), berust de afschrikveroudering van bijv. koolstofhoudend staal ook op precipitatie, nl. van de opgeloste C-atomen in de bij lage temperatuur stabiele phase (i.c. Fe_3C). Daartoe moeten die atomen door het rooster diffunderen. Het blijkt nu dat de precipitatiesnelheid, dus de verouderingssnelheid, sterk toeneemt als men het afgeschrikte materiaal vervormt, bijv. walst [10]) [12]).

Interessant is, dat de bewerking niet de activeringsenergie voor het precipitatieproces (zoals die bijv. uit de temperatuurafhankelijkheid volgt) blijkt te beïnvloeden, maar slechts de snelheid van precipitatie vermenigvuldigt met een factor, onafhankelijk van de temperatuur. Blijkbaar wordt slechts het aantal plaatsen waarnaar een opgelost atoom (vanuit een bepaalde plaats) kan springen, verhoogd, maar de energie die voor zo 'n sprong moet worden opgebracht, blijft dezelfde. Waarschijnlijk is dit effect een gevolg van het grote aantal vacatures dat tijdens de deformatie is gevormd (zie I).

Dat roosterfouten ook als vangplaatsen voor vreemde atomen kunnen dienen, leert het verschijnsel van de vervormingsveroudering. Een vervormd (niet noodzakelijkerwijs afgeschrikt) metaal vertoont na deformatie eveneens een geleidelijke hardheidsverandering. In een indertijd in dit tijdschrift verschenen artikel is reeds uitvoerig de door Cottrell en Bilby [13]) voorgestelde verklaring besproken [14]). Deze berust op het invangen van de bijgelegeerde atomen door dislocaties, die tijdens de deformatie in grote getale zijn gevormd. Het best bestudeerd is de vervormingsveroudering van koolstof- of stikstofhoudend α-ijzer. De C-, resp. N-atomen bevinden zich op tussenroosterplaatsen. Zij zijn echter iets te groot voor de beschikbare ruimte en zullen daardoor bij voorkeur naar de gedilateerde roostergebieden in de omgeving van lijndislocaties (of dislocaties met overwegend lijnkarakter) diffunderen. Hier worden

[10]) M. L. V. Gayler, J. Inst. Metals **72**, 243, 1943.
[11]) J. D. Fast, Verouderingsverschijnselen in ijzer en staal na snel koelen, Philips techn. T. **13**, 165-172, 1951.
[12]) G. C. Smith, Progress in Metal Physics **1**, 163-234, 1949.
[13]) A. H. Cottrell, Progress in Metal Physics **1**, 77, 1949; B. A. Bilby, Proc. Phys. Soc. **A 63**, 191, 1950.
[14]) J. D. Fast, Vervormingsveroudering in ijzer en staal, Philips techn. T. **14**, 27-31, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zij ingevangen, maar dan is de dislocatie geblokkeerd, daar zij om verder te bewegen òf het atoom zou moeten meenemen, òf zich ervan losrukken. Beide processen vormen uiteraard een belemmering voor de dislocatiebeweging en het metaal als geheel wordt minder vervormbaar. Met dit verschijnsel hangt nauw samen het optreden van een scherpe vloeigrens in C- of N-houdend ijzer. Deze wordt in de theorie geïdentificeerd met de spanning nodig om de dislocaties van de ingevangen C- of N-atomen los te rukken.

De berekening van de verouderingsnelheid als functie van de concentratie q aan vreemde atomen en van de diffusiecoëfficient D van deze atomen in het moederrooster, stuit op grote moeilijkheden. Deze worden enerzijds veroorzaakt door het eigenaardige spanningsveld dat de dislocatie omgeeft, anderzijds door het feit dat de opgeloste atomen gewoonlijk niet alleen de neiging hebben naar de dislocaties te diffunderen, doch ook om precipitaten van de bij lage temperatuur stabiele phase te vormen. In de oorspronkelijke door Cottrell en Bilby gegeven theorie is het laatste effect verwaarloosd. Door Fast is echter aangetoond, aan de hand van experimenten over de inwendige demping van koolstof- en stikstofhoudend ijzer[14]), dat de evenwichtsconcentratie van vrije C- of N-atomen bij kamertemperatuur zo klein is, dat deze geen of nauwelijks enige vervormingsveroudering kunnen veroorzaken. Men is dan ook gedwongen aan te nemen dat de C- of N-atomen die voor de blokkering der dislocaties verantwoordelijk zijn, door de aanwezige carbide- of nitrideprecipitaten worden geleverd. Men kan aantonen dat, indien het precipitaat in zeer fijn gedispergeerde toestand in het metaal voorkomt, de verouderingssnelheid in eerste benadering zal worden bepaald door het product Dq. Op deze wijze wordt het mogelijk in te zien, hoe het komt dat stikstof een veel snellere veroudering van α-ijzer teweegbrengt dan koolstof, bij dezelfde temperatuur.

Een verschijnsel waarvan een bevredigende verklaring, zelfs in grote lijnen, nog niet is te geven, maar dat zeer waarschijnlijk door het gedrag van dislocaties en andere roosterfouten wordt bepaald, is de kruip. Hieronder verstaat men de geleidelijke toeneming van de vervorming van een belast materiaal, nadat de door de trek-rekkromme aangegeven waarde is bereikt. Men kan verschillende kruipstadia onderscheiden. Technisch het belangrijkste kruipstadium is de kruip met constante snelheid. Deze treedt echter slechts op bij hogere temperaturen, zoals in verbrandings- en straalmotoren voorkomen. Daar binnenkort een speciaal aan de kruip gewijd artikel in dit tijdschrift zal verschijnen, zullen wij op het mechanisme (of de mechanismen) ervan hier niet verder ingaan.

Wel willen wij tot slot nog onze aandacht richten op de veranderingen van de electrische weerstand van metalen tijdens de vervorming, en wel speciaal op de weerstandsveranderingen bij lage temperatuur.

Weerstandsvariatie door plastische deformatie

De electrische weerstand van een metaal ontstaat doordat de electronen, die als dragers van de stroom een gemiddelde beweging in de richting van het aangelegde electrische veld uitvoeren, verstrooid worden aan roosterfouten. Een metaal met een perfect rooster zou geen electrische weerstand bezitten. De electrische weerstand kan dus als een indicator voor de afwijkingen van de perfecte kristalstructuur worden beschouwd.

Bij normale temperaturen wordt verreweg het grootste deel van de weerstand veroorzaakt door de verstrooiing door de thermische roostertrillingen, en in legeringen bovendien door verstrooiing aan de bijgelegeerde atomen. Bij lage temperaturen (nabij het kookpunt van waterstof en lager) wordt de relatieve invloed der roostertrillingen zeer gering, en neemt dientengevolge de electrische weerstand van zuivere metalen sterk af.

Het blijkt dat plastische deformatie de electrische weerstand van een metaal niet onaanzienlijk kan doen toenemen. Bij kamertemperatuur bedraagt deze toeneming voor een bijv. 100% gerekt metaal meestal enkele procenten — de hoogsmeltende metalen wolfraam en molybdenium vormen een uitzondering, daar neemt de weerstand met tientallen procenten toe. Deze weerstandsverhoging moet worden toegeschreven aan de grote aantallen roosterfouten die tijdens de plastische deformatie zijn gevormd.

Daar in eerste benadering geldt dat de diverse bijdragen tot de electrische weerstand die toe te schrijven zijn aan diverse oorzaken, additief zijn (regel van Matthiessen), moet men verwachten dat bij lage temperaturen, waar de invloed der roostertrillingen klein is, de relatieve weerstandsveranderingen veroorzaakt door plastische deformatie groter zullen zijn dan bij kamertemperatuur.

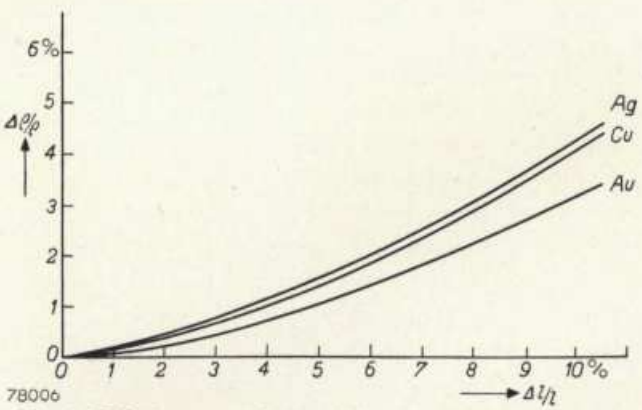


Fig. 9. Relatieve verandering $\Delta\varrho/\varrho$ van de electrische weerstand van de metalen zilver, koper en goud door plastische rek (relatieve lengteverandering $\Delta l/l$) der draden bij vloeibare luchttemperatuur. (Volgens ongepubliceerde experimenten van J. A. Manintveld aan de Technische Hogeschool te Delft.)

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Om het effect te bestuderen, zal men dus het liefst onderzoekingen bij lage temperaturen uitvoeren.

Metingen aan metaaldraden die bij de temperatuur van vloeibare lucht enkele procenten werden gerekt [15]), toonden aan dat de relatieve toeneming $\Delta\varrho/\varrho$ van de soortelijke weerstand bij deze temperatuur van dezelfde orde van grootte is als de relatieve lengteverandering $\Delta l/l$ van de draad. Enkele van deze metingen zijn in *fig. 9* grafisch voorgesteld.

Het verband tussen extraweerstand en rek is niet lineair. Analyse van de krommen leert dat het is voor te stellen door de formule:

$$\frac{\Delta\varrho}{\varrho} = a\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^{3/2}, \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

waarin a een evenredigheidsconstante is, die bij vloeibare luchttemperatuur van de orde 1 is.

Als roosterfouten die voor de weerstandstoeneming verantwoordelijk kunnen worden gesteld, zal men in de eerste plaats denken aan dislocaties. Er bestaan echter aanwijzingen dat de dislocaties slechts een gering gedeelte van de weerstandsverhoging veroorzaken. Uit diverse experimenten volgt, en uit verscheidene theoretische gezichtspunten kan aannemelijk worden gemaakt, dat de dislocatiedichtheid in een licht vervormd metaal (waarmee wij hier te maken hebben) hoogstens 10^{10} cm^{-2} zal bedragen (zie boven). Het verstrooiend vermogen van een dislocatie kan men bij benadering berekenen [16]); men vindt dan dat, om de in de boven beschreven experimenten waargenomen weerstandsverhoging te verklaren, een veel grotere dislocatiedichtheid, nl. van 10^{11} tot 10^{12} cm^{-2}, noodzakelijk is.

Zo dislocaties dan niet de waargenomen weerstandsverandering voor hun rekening kunnen nemen, de bij de plastische deformatie gevormde vacatures en interstitiële atomen kunnen dit wel. Zoals in I is besproken, zullen deze roosterfouten in grote aantallen ontstaan als gevolg van de wederzijdse doorsnijding van dislocaties tijdens de beweging door het kristalrooster. Er worden dan knikken gevormd, die bij verdere beweging een spoor van vacatures of interstitiële atomen achterlaten. Onderstellen we dat de dislocaties nagenoeg alle door Frank-Readbronnen worden geleverd, en dat de knikken gevormd worden tijdens de doorsnijding van de dislocatieringen met het reeds aanwezige netwerk van dislocaties, dan zal na een rek van ca. 10% de concentratie aan vacatures en interstitiële atomen ongeveer 10^{19} per cm^3 bedragen [17]). Ook het verstrooiend vermogen voor electronen van een vacature of een interstitieel atoom kan men bij benadering berekenen [18]). De resultaten van diverse onderzoekers lopen nogal wat uiteen, maar als gemiddelde kan men wel aannemen, dat om de waargenomen weerstandsverandering in de bovenbeschreven proeven te verklaren, een concentratie van deze roosterfouten van 10^{18} tot 10^{19} cm^3 inderdaad voldoende is.

De vervorming, zowel als het aantal gevormde knikken, is evenredig met de totale oppervlakte door de ringen van een Frank-Readbron doorlopen, dus met het kwadraat van de gemiddelde straal van de ringen. Het aantal roosterfouten, in het spoor van de knikken gevormd, zal evenredig zijn met het aantal knikken en de door een knik afgelegde weg, d.i. de gemiddelde straal van de ringen, dus in totaal met de derde macht van deze straal. Daar de mate van verstrooiing van de electronen en derhalve ook de weerstandstoeneming evenredig kan worden gesteld aan het aantal nieuwe roosterfouten per cm^3, vinden wij dus voor het verband tussen weerstandsverhoging en vervorming een uitdrukking van de vorm:

$$\Delta\varrho \sim \varepsilon^{3/2},$$

in overeenstemming met de waargenomen relatie (7).

Wordt het bij vloeibare luchttemperatuur vervormde materiaal op hogere temperatuur gebracht, dan blijkt een gedeelte van de extraweerstand te verdwijnen. (Wij bedoelen hier de absolute waarde van de extraweerstand; de grootte van die weerstand betrokken op de totale weerstand neemt uiteraard af, doordat de invloed van de roostertrillingen in verhouding tot die van de andere roosterfouten bij stijgende temperatuur toeneemt.) Nadere studie [19]) van dit weerstandsherstel heeft uitgewezen dat er sprake is van meer dan één herstelproces; elk proces hangt van de temperatuur af volgens een exponentiële wet, waarin een of meer activeringsenergieën voorkomen. Men onderscheidt tegenwoordig drie herstelprocessen (*fig. 10*). Het eerste proces speelt zich af (in de metalen zilver, koper en goud althans) bij temperaturen van omstreeks —100 °C, en is niet gekarakteriseerd door één scherp bepaalde activeringsenergie, doch door een gebied van activeringsenergieën. Tijdens dit herstel neemt de extraweerstand met enkele tientallen procenten af. Het tweede herstelproces treedt in de genoemde metalen op om en nabij kamertemperatuur;

---

[15]) J. Molenaar en W. H. Aarts, Nature **166**, 690, 1950; M. J. Druyvesteyn en J. A. Manintveld, Nature **168**, 868, 1951.

[16]) D. L. Dexter, Phys. Rev. **85**, 936, 1952.

[17]) H. G. van Bueren, Acta Metallurgica **1**, 607, 1953.

[18]) De meest recente berekening is uitgevoerd door P. Jongenburger, Phys. Rev. **90**, 710, 1953.

[19]) J. A. Manintveld, Nature **169**, 623, 1952.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de activeringsenergie heeft hier een veel nauwkeuriger te bepalen waarde. Na dit herstel is nog ongeveer de helft van de extraweerstand over. Het derde herstelproces vindt plaats bij temperaturen van enkele honderden graden Celsius of hoger, en hangt nauw samen met het mechanische herstel, dat

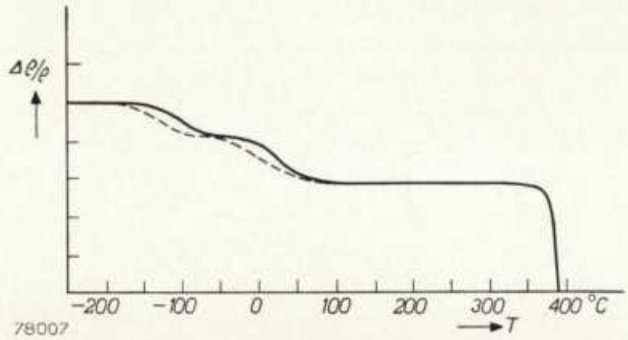


Fig. 10. Herstel van de electrische weerstand die door deformatie bij −180° C is ontstaan, na verhitting op hogere temperaturen. De vervormde (Cu-)draad is na het trekken gedurende 15 min op een temperatuur van −150 °C gebracht, daarna is de weerstand gemeten bij vloeibare luchttemperatuur, daarna is de draad 15 min op −130 °C gebracht en weer de weerstand gemeten bij vloeibare lucht, enz. Uitgezet is de procentuele verandering $\Delta\varrho/\varrho$ van de extra weerstand. Het verloop van de curve tijdens de herstelprocessen is sterk afhankelijk van de bewaartijd op de diverse temperaturen. De gestippelde kromme geeft het weerstandsverloop bij een bewaartijd van 45 min. Uit deze krommen zijn activeringsenergieën voor de diverse herstelprocessen af te leiden. Deze figuur is ontleend aan [19]), behalve het stuk boven kamertemperatuur, dat slechts schematische betekenis heeft.

wij in een der vorige hoofdstukken hebben beschreven. De twee vorige herstelprocessen van de electrische weerstand gaan daarentegen niet of nauwelijks gepaard met een verandering in de mechanische eigenschappen. Dit is een tweede argument voor onze bewering, dat dislocaties slechts voor een gering deel van de extraweerstand verantwoordelijk zijn.

De herstelprocessen hangen ongetwijfeld samen met de diffusie van de gevormde vacatures en interstitiële atomen naar plaatsen waar ze op de electrische weerstand geen of minder invloed hebben. Het eerste herstelproces denkt men zich tegenwoordig veroorzaakt door recombinatie van vacatures en interstitiële atomen en door associatie of dissociatie van groepen van deze roosterfouten. Over de quantitatieve invloed van deze processen tast men echter nog in het duister. Waarschijnlijk vinden, gezien het brede gebied van activeringsenergieën, een aantal processen tegelijk plaats. Het tweede herstelproces wordt zeer waarschijnlijk veroorzaakt door het diffunderen van vacatures naar dislocaties, waar zij worden ingevangen en dan op de weerstand minder invloed hebben. De activeringsenergie voor de diffusie van vacatures komt goed overeen met de activeringsenergie van het tweede herstelproces. De dislocaties worden door het invangen enigszins in hun beweging belemmerd. Dit strookt met recente waarnemingen [20]), volgens welke het tweede herstelproces gepaard gaat met een kleine toeneming van de mechanische hardheid. Het derde proces hangt nauw samen met de beweging van dislocaties tijdens het mechanische herstel (polygonisatie), waarbij volgens Mott [3]) een groot aantal vacatures resp. interstitiële atomen verdwijnt (tijdens de klimmende beweging der dislocaties) en waarbij misschien ook de invloed van de dislocaties op de weerstand afneemt als gevolg van hun energetisch gunstiger rangschikking.

In deze artikelen is getracht een, noodzakelijkerwijs onvolledig, overzicht te geven van de invloed van roosterfouten op, en de vorming van roosterfouten door plastische deformatie. Het besproken gebied is eerst sinds korte tijd voor de experimentator zowel als voor de theoreticus toegankelijk geworden, en het is dus geen wonder dat in dit overzicht vaak op de ontoereikendheid of onzekerheid der theoretische interpretaties moest worden gewezen. Door deze onzekerheid was het ook niet te vermijden dat in dit artikel de persoonlijke smaak van de schrijver veelal een rol heeft gespeeld bij het naar voren brengen van de zienswijze van verschillende onderzoekers. Dat roosterfouten in het beschouwde gebied een zeer belangrijke rol spelen, is echter aan geen twijfel onderhevig, en een bestudering van hun invloed op een zo groot mogelijke verscheidenheid van terreinen zal uiteindelijk moeten leiden tot een samenhangende beschrijving van wat nu nog grotendeels een losse verzameling feiten en hypothesen is.

---

[20]) T. H. Blewitt, Phys. Rev. **91**, 1115, 1953.

Samenvatting. Plastische deformatie van metalen door glijding wordt aan de hand van microscoopwaarnemingen besproken. Behandeld worden achtereenvolgens de diverse soorten glijlijnen die op het oppervlak van een vervormd metaal te zien zijn, de versteviging als gevolg van de spanningsvelden rondom de dislocaties, en de deformatiebanden die experimentele aanwijzingen vormen voor de belemmering van de beweging van dislocaties. Polygonisatie en herstel worden kort besproken, evenals enkele verschijnselen in legeringen die met roosterfouten samenhangen, met name de verouderingsverschijnselen. Ten slotte volgt een bespreking van enkele experimenten over de verandering van de electrische weerstand door plastische deformatie, met hun mogelijke theoretische verklaring.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

DE SPECIFIEKE LICHTHOEVEELHEID VAN DE „PHOTOFLUX" LAMPEN

door L. H. VERBEEK. 771.448.4

Het uiterst kleine en goedkope flitslampje, type PF 3, dat in 1952 op de markt werd gebracht, is door de fotografen in alle landen enthousiast ontvangen. Dit artikel beschrijft in korte trekken de ontwikkeling die tot de fabricage van deze lamp en de analoge iets grotere types (PF 14 en PF 25) heeft geleid.

Terwijl een kwart eeuw geleden voor fotografische momentopnamen binnenshuis nog overwegend het open flitslicht van magnesiumpoeder werd gebruikt, is dit thans vrijwel geheel verdrongen door de bekende in glas ingesloten flitslamp. De voordelen van deze lamp zijn vele: zij werkt betrouwbaarder dan het open flitslicht, zij vermijdt alle brandgevaar, zij heeft een kortere flitsduur en ten slotte heeft zij de mogelijkheid geopend tot synchronisatie van de belichting met het open en dicht gaan van de sluiter — een werkwijze die uit de hedendaagse fotografische practijk niet meer weg te denken is.

Al deze voordelen zouden de flitslamp het pleit niet hebben kunnen doen winnen indien deze niet had voldaan aan een fundamentele voorwaarde: zij moest voldoende licht geven tegen een acceptabele prijs. Het laatste hield in dat de lamp niet zeer groot mocht zijn, of met andere woorden dat de specifieke lichthoeveelheid van de lamp, dat is de lichthoeveelheid per volume-eenheid, groot genoeg moest zijn. (De lichthoeveelheid is gedefinieerd als het aantal visuele lumenseconden, dat men bepaalt door integratie over het gehele verloop van de flitskromme, *fig. 1.*)

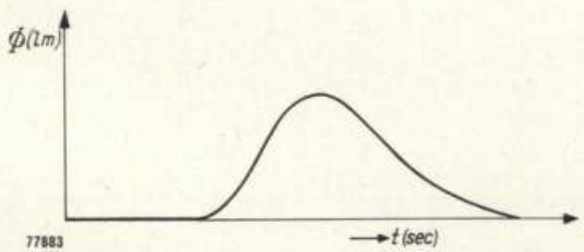


Fig. 1. Lichtstroom Φ in visuele lumens, uitgezonden door een flitslamp, als functie van de tijd [1]) (schematisch). Door integratie over deze zg. flitskromme krijgt men de totale uitgezonden lichthoeveelheid in visuele lumenseconden. (Over visuele en fotografische lumenseconden zie het in [3]) aangehaalde artikel.)

[1]) Een methode voor het opnemen van zulke flitskrommen werd beschreven door: J. A. M. van Liempt en J. A. de Vriend, Rec. Trav. chim. Pays-Bas **52**, 160, 1933. Voor de thans gestandaardiseerde meetmethode, zie Am. Federal Specification WL 122.

Men kan zeggen dat het streven naar een zo groot mogelijke specifieke lichthoeveelheid van meet af aan de ontwikkeling van de flitslamp en met name die van de door Philips gelanceerde „Photoflux" lampen heeft beheerst. De eisen aan de totale lichthoeveelheid zijn in deze kwart eeuw niet gestegen, zelfs gedaald, dank zij het gebruik van lichtsterkere objectieven en van gevoeliger fotografische emulsies. De eis van een zo klein mogelijk volume (ergo lage prijs) voor de gegeven lichthoeveelheid echter is voortdurend klemmender geworden. Voor een deel was dit het gevolg van de concurrentie tussen de verschillende fabrikanten van flitslampen, voor een deel ook gevolg van de groeiende populariteit van deze lichtbron: hoe meer flitslampen men wil gebruiken, des te belangrijker zijn een lage prijs èn een geringe omvang. Voor de fotoverslaggever van heden hangt het quantitatieve en qualitatieve succes van zijn werk veelal ervan af hoeveel flitslampen hij in zijn jaszak kan meenemen.

Het antwoord op deze eisen is geweest de in *fig. 2* geïllustreerde, indrukwekkende stijging van de specifieke lichthoeveelheid die de „Photoflux" lampen sinds hun invoering in 1932 te zien hebben gegeven. Voor de oudere meetresultaten (van vóór 1945), die in deze grafiek zijn verwerkt, is enig voorbehoud nodig, daar de meettechniek toen nog niet gestandaardiseerd was. Maar zelfs indien men voor de periode tot 1945 een mogelijke fout van, pessimistisch geschat, 20% in aanmerking neemt, blijft de uit fig. 2 sprekende enorme stijging van de specifieke lichthoeveelheid onaangetast.

De diverse sprongpunten die men in de ontwikkelingslijn volgens fig. 2 ziet, beantwoorden aan evenzovele belangrijke wijzigingen in de bouw of de fabricagemethode van de „Photoflux" lampen. Aan de laatste grote sprong, die ongeveer een jaar geleden werd gemaakt, is verbonden geweest het op de markt verschijnen van de PF 3, zonder enige twijfel de kleinste flitslamp ter wereld. We willen hier een korte beschrijving geven van de wijziging in de flitslampentechniek waardoor de laatstgenoemde sprong mogelijk geworden is. Als voor-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bereiding hiertoe is het gewenst ook op de ontwikkelingsstappen van de flitslampentechniek die aan de eerdere sprongen in de afgebeelde grafiek beantwoorden, nader in te gaan.

Bij de eerste „Photoflux" lampen berustte de lichtontwikkeling op de explosieve verbranding van een hoeveelheid zwavelkoolstof. De lampen waren gevuld met een mengsel van ca. 30 vol. % zwavelkoolstof (CS_2) en ca. 70 vol. % stikstofmonoxyde (NO).

In 1934 werd overgegaan tot een geheel ander principe. De lichtontwikkeling van de „Photoflux" lampen werd nu verkregen door verbranding van een hoeveelheid zeer dun draad (dikte 32 micron) van een aluminium-magnesiumlegering [2]). In de ballon werd een kluwen van dit draad gebracht en de ballon werd gevuld met een ruime hoeveelheid zuurstof. Het volume werd zo gekozen dat de druk betrekkelijk laag was (25 cm Hg), om bij de ontsteking van de lamp geen explosie te krijgen.

Een andere techniek, die door anderen reeds voordien was ontwikkeld en die eveneens zeer bruikbare resultaten gaf, berustte op de verbranding van zeer dun aluminiumfoelie in zuurstof. De vulling met draad in plaats van die met foelie had tot gevolg dat het productieproces in hogere mate kon worden gemechaniseerd, waardoor de lamp goedkoper kon worden. Ook het feit dat de flitskromme van de draadlampen breder is dan die van de foelielampen (*fig. 3*), bleek later een belangrijk voordeel, omdat het een gemakkelijker en betrouwbaarder synchronisatie mogelijk maakt [3]). Ten slotte bood de met draad gevulde lamp ook wat betreft de specifieke lichthoeveelheid voordelen ten opzichte van de foelielamp. Bij een draadkluwen wordt nl. het bij het begin van de verbranding geproduceerde licht in veel mindere mate door het nog niet verbrande metaal afgeschermd dan bij een foelie; men krijgt dus meer licht bij een zelfde volume. Bovendien gaat de minder steile flitskromme van de draadlamp gepaard met een lagere topwaarde van de druk tijdens de verbranding; daardoor kan men de draadlamp vullen tot een hogere zuurstofdruk en dus volstaan met een kleiner ballonvolume, bij dezelfde lichthoeveelheid en dezelfde veiligheidsmarge ten aanzien van het explosiegevaar.

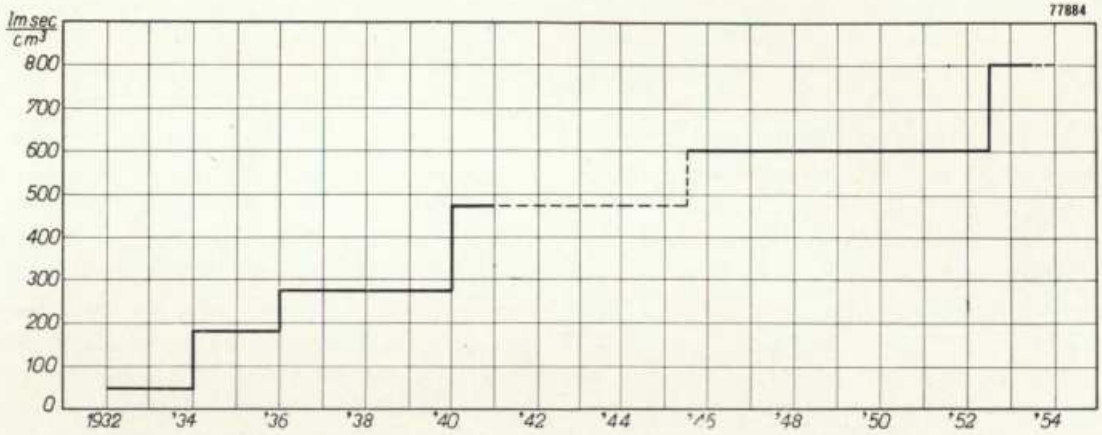


Fig. 2. De specifieke lichthoeveelheid (aantal visuele lumenseconden gedeeld door het ballonvolume) van de „Photoflux" lampen, in de loop der jaren. Voor elk jaar is van de toen verkrijgbare serie het type met de grootste specifieke lichthoeveelheid genomen.

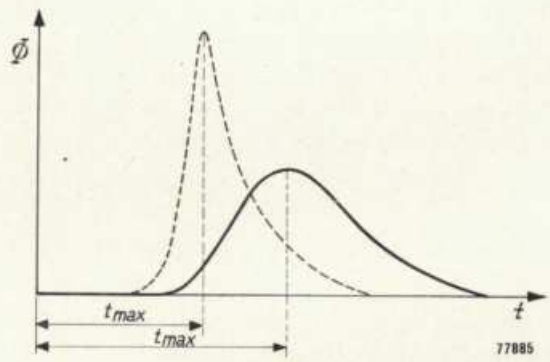


Fig. 3. Flitskromme (schematisch) van een lamp gevuld met Al-Mg-draad (getrokken kromme) resp. met Al-foelie (gestippelde kromme). De foelielamp heeft een spitsere flitskromme dan de draadlamp. Bovendien is de maximumtijd, d.i. de tijdsduur t_{max} van het ontsteken tot het bereiken van de maximale lichtstroom, bij de foelielamp in de regel aanzienlijk korter dan bij de draadlamp.

Wij kunnen direct hierbij aanknopen om de volgende sprong in de grafiek fig. 2 toe te lichten. Men kwam tot het inzicht dat het bij een draad-

[2]) Zie J. A. M. van Liempt en J. A. de Vriend, Philips techn. T. **1**, 289-294, 1936.
[3]) G. D. Rieck en L. H. Verbeek, Philips techn. T. **12**, 189-197, 1950.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kluwen, dank zij het feit dat alle metaaldeeltjes gemakkelijk voor de zuurstof toegankelijk zijn, niet nodig is zuurstof in overmaat ter beschikking te stellen voor de verbranding. Gebruikt men chemisch aequivalente hoeveelheden verbrandingsmetaal en zuurstof, dan ontwikkelen zich bij de verbranding, doordat er geen overtollig gas is dat tot hoge temperatuur wordt verhit, minder hoge topdrukken, en men kan dus hogere aanvangsvuldrukken voor de zuurstof toelaten. Dit komt neer op het opbergen van dezelfde hoeveelheid zuurstof in een kleinere ballon (het constant gebleven volume dat de verbrandingsdraad zelf inneemt, is zeer klein ten opzichte van het volume van de zuurstof en kan dus hier worden verwaarloosd).

De verdere sprongen in de grafiek, in de jaren 1940 en 1946, zijn te danken geweest aan de invoering van een taaie, beschermende laklaag, eerst op de binnenzijde, daarna ook op de buitenzijde van de ballon. De hierdoor bereikte vermindering van het explosiegevaar maakte nog weer hogere zuurstofdrukken toelaatbaar. Deze ontwikkeling is indertijd reeds uitvoerig in dit tijdschrift besproken [3]).

Een voortgezet onderzoek over de voorwaarden waaronder explosie van een glazen ballon optreedt, bracht aan het licht dat om hoge drukken te kunnen toelaten, de wanddikte van de ballon niet eens zo heel groot behoeft te zijn, mits de ballon maar in de dunste zones van zijn profiel zeer gelijkmatig van wanddikte en geheel rotatiesymmetrisch is. Dit opende de mogelijkheid een ballon te gebruiken die niet direct uit de gesmolten glasmassa wordt geblazen, maar waarbij wordt uitgegaan van met grote snelheid automatisch getrokken buisglas, dat door plaatselijk verwarmen en uitblazen in een vorm het gewenste model krijgt. Dit procédé kan, voor niet te grote ballons, zo worden geleid dat inderdaad een zeer gelijkmatige wanddikte wordt verkregen. Op deze wijze worden bijv. de kleine ballons voor zaklantaarnlampjes en derg. gemaakt. Hoewel de wanddikte van deze ballons op de grootste diameter amper 0,3 mm bedraagt, is het uit de regelmatige contrôles bekend, dat zij gemiddeld een statische druk van 15 à 20 atm kunnen uithouden. Uit het genoemde onderzoek was daarentegen gebleken dat in de, sinds 1946 vervaardigde, types „Photoflux" lampen de topdrukken bij de ontsteking een waarde van ca. 4 atm niet te boven gingen. Weliswaar is er — en dit geldt voor elke ballonvorm — een kans dat de ballon tijdens het ontsteken zijn sterkte verliest, doordat de regen van gloeiende asdeeltjes barstjes in het glas kan veroorzaken (vgl. het in [3]) aangehaalde artikel). Aan deze mogelijkheid wordt het hoofd geboden door de laklaag waarvan de flitslamp aan de buitenzijde wordt voorzien en die zèlf (dus zonder glas) ook al een druk van 3 à 5 atm kan uithouden!

De genoemde resultaten leidden ertoe, een flitslamp te construeren volgens de techniek van de „kleine gloeilampen" (zaklantaarn-, rijwiel-, schakelbordlampjes enz.). We zullen straks zien dat bij deze techniek het ballonvolume zo volledig mogelijk wordt gebruikt, terwijl bovendien nog een hogere vuldruk dan tot dusverre werd toegepast (65 cm Hg). Bij de aldus vervaardigde flitslamp PF 3 werd zodoende een specifieke lichthoeveelheid van ca. 700 lmsec/cm³ bereikt, bij de nadien uitgebrachte, iets grotere types PF 14 en PF 25 zelfs waarden tot 800 lmsec/cm³. Met de invoering van deze nieuwe techniek correspondeert de meest recente sprong in de grafiek fig. 2; zie ook *tabel I*.

Tabel I. Gegevens van de nieuwe „Photoflux" lampen.

type	ballon-diameter mm	hoeveelheid Al-Mg-draad mg	licht-hoeveelheid lmsec	ballon-volume cm³	spec. licht-hoeveelheid lmsec/cm³
PF 3	22	11	5500	8	700
PF 14	26,5	22	11000	14	780
PF 25	30	34	16000	20	800

Dat de prijs van de nieuwe lampen aanzienlijk lager kon worden gesteld dan die van aequivalente vroegere types, is overigens niet alleen te danken aan de grotere specifieke lichthoeveelheid; de thans toegepaste techniek is op zichzelf al zeer bevorderlijk voor een economische massafabricage (toepassing van snel lopende machines, weinig glasverlies).

In *fig. 4* en *5* is geschetst het fabricageproces van de „Photoflux" lampen volgens de oude resp. volgens de nieuwe techniek. Bij de oude, gebruikelijke, techniek gaat men uit van een zg. kneepstel, bestaande uit een stuk buisglas dat aan het ene eind dichtgeknepen is rondom de twee doorgestoken toevoerdraden en waarvan het andere eind tot een flens is omgerold; in de kneep is tevens een pompbuisje ingesmolten. Tussen de twee toevoerdraden bevindt zich de ontsteekdraad, waarop een explosieve pasta is aangebracht, die bij verhitting door de ontsteekdraad het draadkluwen doet ontvlammen. Dit stel wordt in de ballon geplaatst, waarin het draadkluwen is gebracht, en langs de flens versmolten met de ballonhals. Daarna wordt de ballon door middel van het pompbuisje geevacueerd en gevuld met zuurstof. Bij het insmelten

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gaat een belangrijk deel van de ballonhals verloren als glasafval, evenals het pompbuisje. Na het pompen wordt een lampvoet op de lamp gekit.

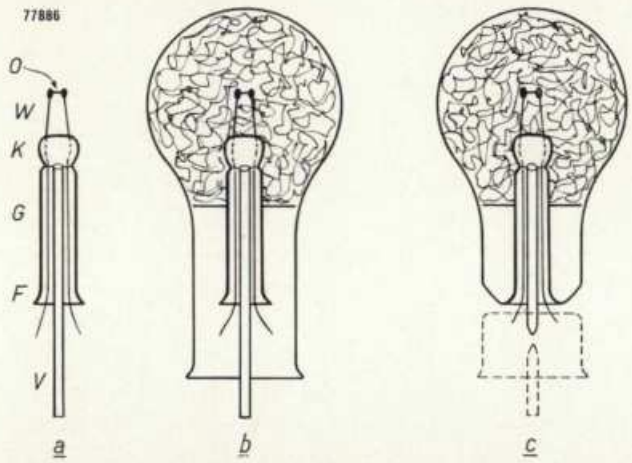


Fig. 4. Ter toelichting van de fabricage van een „Photoflux" lamp volgens de oude techniek. Het zg. stel (*a*) bevat een stuk buisglas *G*, dichtgeknepen (bij *K*) om de twee toevoerdraden *W* met de ontsteekdraad *O*, en voorzien van een pompbuisje *V*. Na plaatsing in de ballon (*b*) wordt de flens *F* van het stel met de ballonhals versmolten (*c*).

De nieuwe werkwijze (fig. 5) gaat uit van een veel eenvoudiger en minder volumineus „stel". Dit bestaat alleen uit de twee toevoerdraden, die gesmolten zijn in een glazen kraaltje en waartussen weer de ontsteekdraad met de ontsteekpasta is aangebracht. Dit zg. „parelstel" wordt in de met draad gevulde ballon gehangen, die in dit geval op de reeds aangestipte wijze uit buisglas geblazen is. Hierna wordt een pompbuis van hetzelfde buisglas aan de hals van de ballon gesmolten, waarbij tevens het

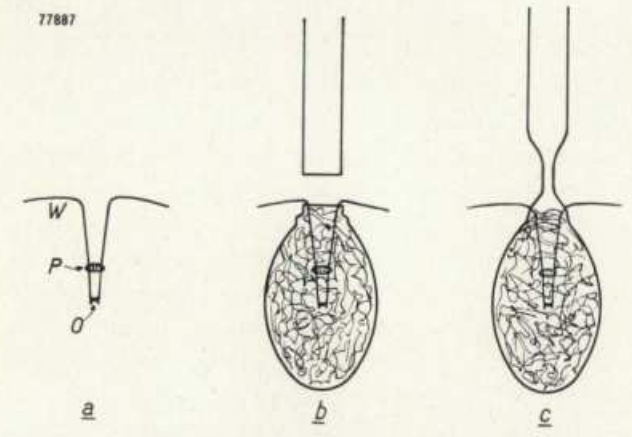


Fig. 5. Fabricage van de nieuwe „Photoflux" lampen, met een zg. parelstel. Het stel (*a*) bestaat nu eenvoudig uit de twee toevoerdraden *W*, met de ontsteekdraad *O*, gesmolten in een glazen kraaltje of parel *P*. Dit stel hangt men in de ballon (*b*), die uit dun buisglas is geblazen. Door aanzetten van een stuk van dit zelfde buisglas (*c*) smelt men de toevoerdraden in en krijgt de ballon een pompbuis (die na afsmelten van de ballon zèlf tot een ballon wordt uitgeblazen).

insmelten van de beide toevoerdraden van het stel plaats heeft. Na het pompen, met zuurstof vullen en afsmelten van de ballon kan uit de overblijvende pompbuis weer een ballon worden geblazen, zodat vrijwel geen glas afvalt.

De PF 14, die thans volgens deze techniek gemaakt wordt, geeft ca. 11 000 lumenseconden, d.i. dezelfde lichthoeveelheid die verkregen werd uit de eerste, in 1932 op de markt gebrachte, „Photoflux" lampen. Het volume van de PF 14 echter is nog slechts ongeveer 5% van dat van de oude lamp. Door *fig. 6* wordt de vooruitgang, waarin dus het gehele verloop van de lijn in fig. 2 is samengevat, ad oculos gedemonstreerd.

Een enkel woord dient nog te worden gezegd over de verschillen in specifieke lichthoeveelheid die

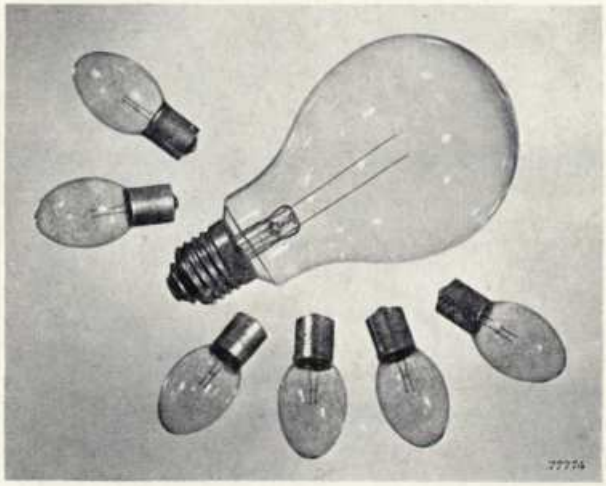


Fig. 6. Enige flitslampen van het tegenwoordige type PF 14, en een „Photoflux" lamp van 1932, met zwavelkoolstofvulling, welk type dezelfde totale lichthoeveelheid leverde.

men aantreft tussen de flitslampen van een zelfde serie; zie tabel I. De volumina der ballons zijn evenredig met de hoeveelheid metaal van het draadkluwen, want er worden in elk geval aequivalente hoeveelheden zuurstof gebruikt, en de vuldruk is voor alle lampen even groot. Men zou dus, als de lichtopbrengst per milligram metaal (het „rendement") altijd even groot blijft, voor alle lampen een zelfde waarde van de specifieke lichthoeveelheid verwachten. Inderdaad blijken bij nader onderzoek de verschillen in de gemeten specifieke lichthoeveelheid niet te wijten te zijn aan verschillen in rendement, doch aan de lichtverliezen door de lampvoet en de ontsteekpasta. De drie lamptypes van tabel I hebben dezelfde lampvoet. Deze schermt bij de kleinste lamp aanzienlijk meer licht af dan bij de grootste; zie *fig. 7*. Verder veroorzaakt ook de ontsteekpasta een zeker lichtverlies (vermoedelijk door een soort rookontwikkeling), en dit verlies

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is procentueel niet voor alle lamptypes hetzelfde; bovendien moet men ontsteekpasta's van verschillende samenstelling gebruiken om bij alle lamptypes dezelfde ontsteeksnelheid (zg. maximumtijd, vgl. fig. 3) te verkrijgen. In *tabel II* zijn de genoemde lichtverliezen voor de drie verschillende lamptypes van tabel I opgegeven, alsmede de specifieke lichthoeveelheid na correctie voor deze verliezen. Men ziet dat deze bruto specifieke lichthoeveelheid voor alle types nagenoeg dezelfde is.

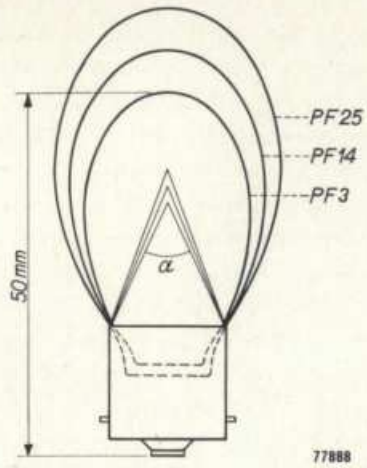


Fig. 7. De drie flitslampen PF 3, PF 14 en PF 25 hebben dezelfde lampvoet, maar de ballons zijn natuurlijk van verschillende grootte. Als maat voor de afschermende werking van de voet kan men de hoek α nemen waaronder de voet uit het middelpunt van de lamp wordt gezien.

Tabel II. Lichtverliezen bij de verschillende types „Photoflux" lampen.

type	afscherm-hoek van lampvoet	lichtverlies door lampvoet %	lichtverlies door ontsteekpasta %	bruto spec.licht-hoeveelheid lmsec/cm³
PF 3	55°	18	15	940
PF 14	45°	14	7,5	960
PF 25	40°	12,5	5	945

Samenvatting. De lichthoeveelheid van een flitslamp per volume-eenheid van de ballon is zowel voor de kosten als voor het gemak van het gebruik een zeer belangrijke factor. Door een grafiek wordt aangetoond dat deze zg. specifieke lichthoeveelheid van de eerste invoering der „Photoflux" lampen af (ca. 1932) tot heden enorm is toegenomen. De verschillende wijzigingen in de constructie der „Photoflux" lampen die tot deze stijging hebben bijgedragen, passeren in dit artikel de revue. De laatste grote sprong omhoog deed zich voor met de invoering van de PF 3, de kleinste flitslamp ter wereld. Deze kon dank zij de toepassing van de fabricagetechniek der „kleine gloeilampen", met een zg. parelstel, uiterst klein en bijzonder laag in prijs worden gehouden. De PF 14 en de PF 25, die thans in dezelfde techniek worden gemaakt, hebben een specifieke lichthoeveelheid van ca. 800 lmsec/cm³, d.i. een 20 maal zo grote waarde als bij de eerste „Photoflux" lampen.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

Van deze publicaties, voor zover niet met een sterretje * gemerkt, verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvrage overdrukken.

2068: J. A. Keverling Buisman en P. Westerhoff: Investigation on sterols, V. Thio-derivatives of provitamine D (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **71**, 925-932, 1952, No. 8).

Beschrijving van de synthese van thio-analogen van ergosterol en 7-dehydrocholesterol, uitgaande van deze beide verbindingen.

2069: H. J. Moed, M. Asscher, P. J. A. van Droonen en H. Niewind: Synthesis of β-phenyl-ethylamine derivatives, II. Condensation of phenols with amino-acetonitriles (Rec. Trav. chim. Pays-Bas **71**, 933-944, 1952, No. 8).

Beschrijving van de condensatie van amino-acetonitrilen met phenolen volgens de methode van Houben en Hoesch. De condensatie leidt tot de bereiding van een aantal verbindingen van het type

$$R_1R_1N - CH_2 - CO - (C_6H_3R) - OR_3,$$

waarin de R's alkylgroepen voorstellen. Een aantal ω-amino-acetophenonen zijn omgezet in verbindingen die een sympathomimetische activiteit vertonen (dat zijn stoffen die de werking van het sympathische zenuwstelsel nabootsen). De voorwaarden voor en het mechanisme van de synthese werden onderzocht, evenals de invloed van de substituenten in de benzeenkern op de reactiviteit van de phenolcomponent. Ten slotte wordt een discussie gewijd aan de electronische interpretatie van de synthese van Houben en Hoesch.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

R 200: A. Bril en H. A. Klasens: Intrinsic efficiencies of phosphors under cathode-ray excitation (Philips Res. Rep. **7**, 401-420, 1952, No. 6).

Uitvoerige beschrijving en discussie van de metingen die besproken zijn in Philips techn. T. **14**, 378-387, 1952 (No. 12).

R 201: A. Bril en H. A. Klasens: New phosphors for flying-spot cathode-ray tubes (Philips Res. Rep. **7**, 421-431, 1952, No. 6).

Gemeten werd de lichtterugval van een aantal fosforen, bij aanslag door electronen (kathodestralen). Ceriumfosforen zijn het meest geschikt voor kathodestraalbuizen voor lichtstipaftasting voor zwart-wittelevisie (zie Philips techn. T. **15**, 217-228, 229-233, 1953, No. 8). Gekozen werd de fosfor 2 $CaO.Al_2O_3.SiO_2$-Ce, zijnde de meest geschikte fosfor in combinatie met bepaalde glassoorten, die niet zwart worden door bestraling met electronen en zachte röntgenstralen. Met bismuth geactiveerde fosforen zijn geschikt als rode component in buizen met lichtstipaftasting voor kleurentelevisie. Een goede fosfor voor ultraviolet-microscopie volgens hetzelfde systeem is ZrP_2O_7.

R 202: R. Vermeulen: Dimensional analysis, units and rationalization (Philips Res. Rep. **7**, 432-441, 1952, No. 6).

Onoordeelkundige manipulatie van dimensieformules kan leiden tot contradicties, zoals 1 sec = $3 \cdot 10^{10}$ cm of 1 oersted = 1000 A/m. Men kan dit verhelpen door (hetgeen, wonderlijk genoeg, nooit eerder is geschied) nauwkeurig vast te stellen wat men in elk bijzonder geval zal verstaan onder vermenigvuldiging of deling van physische grootheden en door te vermijden dat verschillende soorten van vermenigvuldiging met elkaar worden verwisseld. Door deze maatregelen worden ook sommige moeilijkheden opgelost die samenhangen met de invoering van het gerationaliseerde Giorgi-systeem.

R 203: F. de Jager: Deltamodulation, a method of P.C.M. transmission using the 1-unit code (Philips Res. Rep. **7**, 442-466, 1952, No. 6).

Het is bekend dat in een communicatiesysteem de invloed van storingen in de transmissieweg aanmerkelijk kan worden verminderd door het signaal eerst te coderen, dwz. te vertalen in een patroon van 0- en 1-impulsen en dit patroon over te zenden. In bekende systemen van impuls-codemodulatie wordt een tweetallige code met n cijfers toegepast. Bij de deltamodulatie wordt echter gebruik gemaakt van een code met slechts één cijfer. Het te reproduceren signaal wordt verkregen door een serie van gequantiseerde impulsen toe te voeren aan een lineair netwerk. Hierdoor worden de codeer- en de decodeerapparatuur vereenvoudigd. De omzetting van het informatiesignaal in een patroon van gequantiseerde impulsen gebeurt in een kring met negatieve tegenkoppeling, waarbij de aan het netwerk toegevoerde spanning zowel in amplitude als in de tijd is gequantiseerd.

Het netwerk in de tegenkoppeling moet aangepast zijn bij het gemiddelde spectrum van de informatiesignalen. Voor spraak kan een integrerend netwerk worden gebruikt. Gevonden wordt echter dat de frequentiekarakteristiek van het tegenkoppelnetwerk in het gebied tussen de hoogste spraakfrequentie en de impulsfrequentie invloed heeft op het quantiseringsgeruis in het te reproduceren signaal. Dit quantiseringsgeruis kan worden onderdrukt door combinatie van enkelvoudige en dubbele integratie in dit frequentiegebied. De verhouding tussen de effectieve waarden van het informatiesignaal en het quantiseringsgeruis is dan evenredig met de $^5/_2$ macht van de impulsfrequentie. (Zie ook Philips techn. T. **13**, 249-258, 1951.)

R 204: A. van Weel: Measurement of group-delay time in networks (Philips Res. Rep. **7**, 467-473, 1952, No. 6).

Een welbekend principe voor de bepaling van de groeplooptijd is gebaseerd op het meten van fazerelaties van een laagfrequente modulatie op een hoogfrequente draaggolf vóór en na het doorlopen van het te onderzoeken netwerk. Een zeer gevoelige methode voor fazemeting wordt beschreven, waarbij een signaal met de te meten fazehoek in een oscillerende keten wordt geïntroduceerd, waardoor de frequentie van de trilling beïnvloed wordt. Onder bepaalde voorwaarden zijn de te meten fazevariaties evenredig met de resulterende frequentievariaties. Fazevariaties van 0,01 graad kunnen aldus zonder moeite gemeten worden. Daardoor kan, bij een lage modulatiefrequentie (30 kHz), de variatie van de groeplooptijd tot op 10^{-9} sec nauwkeurig worden bepaald.

R 205: Y. Haven en J. H. van Santen: On pre-exponential factors in formulae for ionic conductivity in solids (Philips Res. Rep. **7**, 474-477, 1952, No. 6).

Aangetoond wordt dat, indien in formules voor de evenwichtsconstanten en reactiesnelheidsconstanten de energie E lineair afhangt van de temperatuur T volgens $E = E_0 - aT$, de factor die aan de exponentiële uitdrukking $\exp(-E/kT)$ voorafgaat, niet met een factor $\exp(a/k)$ toeneemt, doordat de veranderlijkheid van E ook invloed heeft op de entropie.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!